

ДЕПАРТАМЕНТ ОСВІТИ І НАУКИ  
ХАРЬКІВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАДМІНІСТРАЦІЇ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

## АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФІЗИКИ ТА ЇХ ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Матеріали

XVII регіональної наукової студентської конференції

(12 - 13 квітня 2017 року)

ХАРКІВ

НТУ «ХПІ»  
2017

ББК 22.3  
А 43  
УДК 53.02

Організаційний комітет:

**Є.І. Сокол**, д.т.н., проф., ректор НТУ «ХПІ» (голова);  
**Р.П. Мігушєнко**, д.т.н, доц., проректор НТУ «ХПІ»(заступник голови);  
**А.П. Марченко**, д.т.н, проф., проректор НТУ «ХПІ»(заступник голови);  
**О.П. Сук**, к.ф.-м.н, зав. кафедри загальної та експериментальної фізики НТУ «ХПІ»  
(заступник голови).

Програмний комітет:

**О.П. Сук**, проф. (голова);  
**І.В. Синельник**, доц. (зас. голови, керівник секції інформаційного забезпечення навчального процесу та фізичних досліджень);  
**Г.І. Копач**, доц. (зас. голови, керівник навчально-методичної секції);  
**С.Д. Гапченко**, доц. (керівник секції з історії фізики);  
**Т.М. Шелест**, доц. (керівник науково-дослідної, інженерної секції);  
**О.М. Андрєєва**, ст.викл. (вч. секретар).

Друкується за рішенням вченої ради НТУ «ХПІ», протокол № 3 від 24.03.2017р.

**А43** **Актуальні** проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення  
[Текст]: матеріали XVII регіон. студ. наук. конф. (12-13 квітня  
2017 року) / оргкомітет: Є.І.Сокол (голова) [та ін.]. – Харків:  
НТУ «ХПІ», 2017-210 с.

ISSN 2415-8046

У збірнику розглядаються питання, пов'язані з актуальними проблемами фізики у минулому, сучасному та майбутньому.

## РЕГЛАМЕНТ РОБОТИ КОНФЕРЕНЦІЇ

12 квітня 2017 р., середа

11<sup>00</sup> – 12<sup>15</sup> – реєстрація учасників конференції

### ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

12<sup>35</sup> ФІЗИЧНИЙ КОРПУС, 105 АУДИТОРІЯ

**Відкриття XVII** регіональної студентської наукової конференції  
«Актуальні проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення»

Ректор Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
д.т.н., **проф. Сокол Є.І.**

Проректор з наукової роботи Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут»,  
д.т.н., **проф. Марченко А.П.**

Завідувач кафедри загальної та експериментальної фізики,  
к.ф.-м.н., **проф. Сук О.П.**

**13 квітня секційні засідання:**

<b>10<sup>25</sup> 307 ауд. У2</b>	<b>НАУКОВО-ДОСЛІДНА, ІНЖЕНЕРНА СЕКЦІЯ</b>
<b>12<sup>35</sup> атом. пр. фіз. корпус</b>	<b>НАУКОВО-МЕТОДИЧНА СЕКЦІЯ</b>
<b>11<sup>00</sup> 213 ауд. У2</b>	<b>СЕКЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>
<b>10<sup>25</sup> атом. пр. фіз. корпус</b>	<b>СЕКЦІЯ ІСТОРІЇ ФІЗИКИ</b>

## ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

12<sup>35</sup> ФІЗИЧНИЙ КОРПУС, 105 АУДИТОРІЯ

- 1. ТВОРЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО АКУСТИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ НА ФИЗИЧЕСКОМ КРУЖКЕ** 16  
*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*  
Ст.: Д. Долгополова, Е. Москаленко, А. Папуця, К. Прудкая, Х. Разиньков, С. Филатов  
Рук.: доц. А.Р. Казачков, инж. В.И. Костюков, доц. А.Т. Котвицкий
- 2. РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБЩЕГО КУРСА ДИСЦИПЛИНЫ** 19  
*КП «Харьковская гуманитарно-педагогическая академия»*  
Ст.: А.Е. Светличная, М.А. Корюк  
Рук. проф. М.Е. Босин
- 3. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРУ МАС СПОРТСМЕНА ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З БІОМЕХАНІКИ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ** 22  
*Харківська державна академія фізичної культури*  
Ст. А.Ф. Казмірчук  
Кер.: проф. В.С. Ашанін, доц. О.В. Басенко
- 4. РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ПАКЕТІВ** 28  
<sup>1</sup>*Харківський національний університет радіоелектроніки*  
<sup>2</sup>*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба*  
Ст.: Є.Ю. Мельник<sup>1</sup>, В.В. Небрат<sup>1</sup>  
Кер. доц. Д.С. Сидоренко<sup>2</sup>
- 5. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РУШІЇ** 30  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
Ст. А.В. Дрегваль  
Кер. проф. О.П. Сук
- 6. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МІКРОСКОПІЇ** 32  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
Ст.: О.В. Воїнов, А.С. Семенова, Я.Р. Широкоград  
Кер.: доц. І.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко, інж. О.В. Синельник, інж. С.М. Колубаєва

## НАУКОВО-ДОСЛІДНА, ІНЖЕНЕРНА СЕКЦІЯ

10<sup>25</sup> ауд. 307 У2

1. **РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АТЕСТАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЕЙ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА** 35  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. Д.С. Прокопенко*  
*Кер.: доц. Д.А. Кудій, с.н.с. М.В. Кіріченко, доц. Р.В. Зайцев*
2. **СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СУПЕРИОННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДОВ МЕДИ** 36  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*  
*Ст. А.В. Репечинский*  
*Рук. доц. Е.Н. Коваленко*
3. **ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ПОТУЖНІСТЬ ПОЛІКРИСТАЛІВ Bi<sub>1-x</sub>Sb<sub>x</sub> ПОБЛИЗУ ПЕРЕХОДУ НАПІВМЕТАЛ-НАПІВПРОВІДНИК** 38  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. Ю.С. Богданов*  
*Кер.: м.н.с. Г.М. Дорошенко, проф. О.І. Рогачова*
4. **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВОГО КОТЛА** 39  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*  
*Ст.: К.А. Пильгуй, Г.И. Потапов*  
*Рук. доц. Р.П. Орел*
5. **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПАСТ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОГО МЕТОДА** 41  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*  
*Ст.: А.С. Васильченко, Н.А. Емельянов*  
*Рук. доц. Р.П. Орёл*
6. **ПОДАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОМЕХ ПРИ ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ТРУБОПРОВОДОВ** 43  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*  
*Ст.: М.С. Калантай, О.В. Коцей*  
*Рук. асс. А.В. Мягкий*

7. **ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕПЛООВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ НЕОДНОРОДНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ** 46  
*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*  
*Ст.: А.И. Овчаренко, М.С. Оржинская, А.О. Пешкова*  
*Рук. асс. А.В. Мягкий*
8. **ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ** 48  
*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*  
*Ст. С.А. Мироненко*  
*Рук. доц. А.Л. Мироненко*
9. **ПЕРСПЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ** 49  
*Технічний коледж Тернопільського національного технічного університету ім. Івана Пулюя*  
*Ст. Д.В. Мидлик*  
*Кер. викл. Л.М. Недошитко*
10. **ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК CdS, ОТРИМАНИХ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЕННЯМ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ** 50  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. О.В. Суддя*  
*Кер.: н.с. М.М. Харченко, асп. А.І. Доброжан, доц. Г.І. Копач*
11. **ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ** 51  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. А.Е. Потривай*  
*Кер.: доц. Л.Г. Петренко*
12. **ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МЕТРОПОЛІТЕНІВ** 53  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. С.Г. Пономаренко*
13. **ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ: РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ** 57  
*Національний технічний університет «ХПІ»*  
*Ст. Е.С. Гулина*  
*Рук.: доц. А.Я. Дульфан, доц. Н.Б. Фатьянова*

14.	<b>НЕВИДИМКА – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?</b> <i>Національний технічний університет «ХПІ»</i> <i>Ст.: М.А. Ракитянская, Л.Р. Свердел</i> <i>Рук.: ст.пр. Ю.И. Веретенникова,</i> <i>асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин</i>	62
15.	<b>ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ</b> <i>Національний технічний університет «ХПІ»</i> <i>Ст.: В.М. Савенко, А.Д. Погорелов</i> <i>Рук.: доц. Т.Н. Шелест, ст.пр. С.С. Кривонос</i>	64
16.	<b>ЗАГАДКИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст.: А.И. Комаров, Д.Е. Загребельный</i> <i>Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин</i>	66
17.	<b>ТЕОРИЯ СТРУН</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст. Б.С. Портной</i> <i>Рук. доц. Т.Н. Шелест</i>	69
18.	<b>ЭФФЕКТ ЛЕЙДЕНФРОСТА</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст.: Е. Зленко, Ю. Гугнина</i> <i>Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин</i>	71
19.	<b>ЭЛЕМЕНТ КАЛЛО</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст. О.А. Железняк</i> <i>Рук. доц. Т.Н. Шелест</i>	76
20.	<b>ТЕОРИЯ КВАРКОВ</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст.: Д.К. Кайдаш, М.Г. Кривуля</i> <i>Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин</i>	77
21.	<b>ЧОРНІ ДІРИ</b> <i>Национальный технический университет</i> <i>«Харьковский политехнический институт»</i> <i>Ст. М. Парасочка</i> <i>Кер.: доц. І.В. Синельник, інж.С.М. Колубасєва</i>	79

## НАУКОВО-МЕТОДИЧНА СЕКЦІЯ

### **12<sup>35</sup> АТОМНИЙ ПРАКТИКУМ ФІЗИЧНОГО КОРПУСУ**

1.	<b>ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ РОБОТЫ АПАРАТУ ДЛЯ УЗД</b> <i>Харківський національний медичний університет</i> <i>Ст. В.В. Венцель</i> <i>Кер. доц. Г.О. Човпан</i>	81
2.	<b>НАНОТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ В КЛЕТКИ</b> <i>Харьковский национальный медицинский университет</i> <i>Ст.: Е.В. Безега, А.Э. Осокин</i> <i>Рук. доц. Човпан А.А.</i>	85
3.	<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА</b> <i>Национальный технический университет «ХПИ»</i> <i>Ст. Д.М. Абрамов</i> <i>Рук.: ст.пр. О.Н. Андреева, доц. А.Н. Андреев,</i> <i>доц. А.Г. Лазаренко</i>	88
4.	<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕТОДОМ АНДЕРСЕНА</b> <i>Национальный технический университет «ХПИ»</i> <i>Ст. А.А. Богдан</i> <i>Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева,</i> <i>доц. А.Г. Лазаренко</i>	93
5.	<b>СОВРЕМЕННЫЕ RGB СВЕТОДИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ</b> <i>Национальный технический университет «ХПИ»</i> <i>Ст. В. Пономарев</i> <i>Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева,</i> <i>асс. К.А. Минакова</i>	99
6.	<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ТЕПЛОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА</b> <i>Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина</i> <i>Ст. А.В. Бурлаенко</i> <i>Рук.: доц. А.А. Алексахин, ст. пр. Е.Б. Алмазова</i>	105

7.	<b>ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст. А.Ю. Швец Рук. доц. Т.И. Храмова	111	14.	<b>ДЕМОНСТРАЦИЯ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст.: А. Лысков, В. Ласкин Рук.: ст. пр. Ю.И. Веретенникова, асс. К.А. Минакова	120
8.	<b>ГРАФЕНЫ, ДВУМЕРНЫЕ КРИСТАЛЛЫ И ГИБРИД- НЫЕ СИСТЕМЫ: ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ.</b> Национальный технический университет «ХПИ» Ст. М.Г. Давыдова Рук.: доц. И.В. Синельник, доц. В.А. Лыках, инж. А.В. Синельник	113	15.	<b>ТОРОИДАЛЬНЫЕ ВИХРИ</b> Национальный технический университет «ХПИ» Ст.: А.В. Хацинская, И.С. Тимошенко, Р.Е. Деменко Рук. ст. пр. И.В. Галуцак	121
9.	<b>КРАСНЫЙ ЦВЕТ ЗАХОДЯЩЕГО СОЛНЦА</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст.: Ю.О. Зеленская, Ю.В. Лукьяненко Рук. ст.пр. С.С. Кривонос, доц. Т.И. Храмова	114	16.	<b>КАПЛИ ДОЛГОЖИТЕЛИ</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст.: И.С. Шкредов, А.В. Оса Рук. ст.пр. С.С. Кривонос	123
10.	<b>ДЕМОНСТРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЯЧИХ ВОЛН</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст.: М.И. Пахнутова, В.В. Сытник Рук.: ст.пр. С.С. Кривонос, доц. Т.Н. Шелест	115	17.	<b>НЕЙТРИНО – САМАЯ ЗАГАДОЧНАЯ ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст. А.Бойченко Рук.: доц. И.В.Синельник, инж.С.М.Колубаева	124
11.	<b>РАДИОВОЛНЫ. ТЕХНОЛОГИЯ WI-FI</b> Национальный технический университет «ХПИ» Ст. М.А. Сырку Рук. ст.пр. С.С. Кривонос	116	18.	<b>ДОСЛІДЖЕННЯ КАРЛИКОВОЇ ПЛАНЕТИ ЦЕРЕРА ЗАДАНИМИ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ “DAWN”</b> Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» Ст. А.О. Ткаченко Кер.: доц. Н.Б. Фатянова, доц. Г.Я. Дульфан	126
12.	<b>ПРИЧИНА ВРАЩЕНИЯ ВЕРТУШКИ КРУКСА</b> Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Ст. В.И. Алексеев Рук.: доц. Н.Б. Фатянова., доц. А.Я. Дульфан	117			
13.	<b>ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА У ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ</b> Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт” Курс.: О.В. Навроцкий, О.В. Пустовар Рук.: доц. Н.Л. Дьяконенко, к.т.н. О.А. Макогон	119			

**СЕКЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ  
ТА ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

**11<sup>00</sup> 213 АУДИТОРІЯ У2**

1. **ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ БІОМЕХАНІКА  
В МЕЖАХ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ФІЗИЧНОЇ  
КУЛЬТУРИ ТА СПОРТУ** 128  
*Харківська державна академія фізичної культури*  
*Ст. Л.Л. Скидан*  
*Кер.: проф. В.С. Ашанін, ст. викл. Ю.І. Петренко*
2. **МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ.  
ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ** 133  
*Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина*  
*Ст. О.В. Чечеленко*  
*Рук.: проф. О.В. Лазоренко, доц. Е.М. Савченко*
3. **ПРИСТРІЙ ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КО-  
ТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ** 135  
*Вінницький технічний коледж*  
*Ст. О.О. Федорішин*  
*Кер. доц. С. М. Цирульник*
4. **ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ, СВЯЗАННЫЕ  
С ДВИЖЕНИЕМ** 139  
*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*  
*Ст. А. Усова*  
*Рук. доц. А.Р. Казачков*
5. **КОЛЬЦЕВОЙ МАЯТНИК И ЕГО ОБОБЩЕНИЕ** 143  
*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина*  
*Ст. Л.А. Котвицкая*  
*Рук.: доц. А.Р. Казачков, доц. А.Т. Котвицкий*
6. **СПОСОБ ВХОДНОГО РЕЙТИНГОВОГО  
ОЦЕНИВАНИЯ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ  
ПЕРВОГО ГОДА ОБУЧЕНИЯ** 147  
*Харьковский национальный медицинский университет*  
*Ст. И.С. Човпан*  
*Рук.: доц. Л.В. Батюк, доц. А.А. Човпан*

7. **ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ** 150  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: Д. Пышный, М. Пискунов*  
*Рук.: ст.пр. Ю.И. Веретенникова, с.н.с. И.Г. Шипкова*
8. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO  
В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ** 152  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: К. Бородин, И. Шевченко*  
*Рук.: доц. Котляров В.О., асс. К.А. Минакова*
9. **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
СВЕРХПРОВОДНИКОВ** 155  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: Д.В. Брагин, А.В. Лазебный, А.А. Чаленко*  
*Рук. доц. А.А. Рожков*
10. **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
НЕРАВНОВЕСНОГО РОСТА КРИСТАЛЛОВ** 158  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: А.О. Власенко, Д.О. Юрчик, А.Р. Евдокимова*  
*Рук.: доц. И.В. Синельник, инж. С.М. Колубаева*
11. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВУКОВОГО РЕДАКТОРА ДЛЯ  
АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ КАМЕТРОНА** 161  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: Д.М. Главчева, А.О. Прилипа, К.В. Свиридов,*  
*В.Ю. Скрипка*  
*Рук.: доц. И.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко,*  
*инж. А.В. Синельник*
12. **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ В  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ** 164  
*Национальный технический университет*  
*«Харьковский политехнический институт»*  
*Ст.: В.В. Каменев, Е.Ю. Шемякин*  
*Рук.: доц. И.В. Синельник, ст.пр. Н.Е. Оверко,*  
*ас. Ю.С. Овчаренко*

13.	<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В МАГНЕТИКАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ИЗИНГА</b>	166
	<i>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»</i>	
	<i>Ст.: И.И. Литвин, Э.Э. Малохвей, Р.А. Коваль</i>	
	<i>Рук.: доц. И.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко, инж. А.В. Синельник</i>	
14.	<b>ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА</b>	168
	<i>Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»</i>	
	<i>Ст.: Н.С. Продченко, Т.С. Майстренко, Р.Г. Васильченко</i>	
	<i>Рук. доц. Г. И. Копач</i>	

## **СЕКЦІЯ ІСТОРІЇ ФІЗИКИ 10<sup>25</sup> АТОМНИЙ ПРАКТИКУМ ФІЗИЧНОГО КОРПУСУ**

1.	<b>ВНЕСОК ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСЬКОГО МИХАЙЛА ЙОСИПОВИЧА У РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ</b>	171
	<i>Національний технічний університет «ХПІ»</i>	
	<i>Ст. В.В. Нікітін</i>	
	<i>Кер. доц. С.С. Ткаченко</i>	
2.	<b>ТАЛАНТЛИВЫЙ САМОУЧКА – ОЛИВЕР ХЭВИ-САЙД</b>	174
	<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
	<i>Ст. В.В. Дементьева</i>	
	<i>Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева</i>	
3.	<b>КЛЮЧОВІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ВЧЕННЯ ПРО ЕЛЕКТРИКУ</b>	178
	<i>Національний технічний університет «ХПІ»</i>	
	<i>Ст.: В. Даниленко, В. Яценко</i>	
	<i>Кер. доц. С.Д. Гапоченко</i>	
4.	<b>ГЕОРГИЙ ГАМОВ – ТРИЖДЫ НЕЛАУРЕАТ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ</b>	181
	<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
	<i>Ст.: А.С. Гуреева, К.С. Бублик</i>	
	<i>Рук.: ст.пр. Е.Б. Алмазова, асс. Н.А. Сухина</i>	
5.	<b>ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОДІЛУ ІЗОТОПУ <sup>11</sup>C ДЛЯ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ У ПЕТ-ДОСІДЖЕННЯХ</b>	185
	<i>Харківський національний медичний університет</i>	
	<i>Ст. А. Е. Ашуров</i>	
	<i>Кер. доц. Г.О. Човпан</i>	
6.	<b>ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	188
	<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
	<i>Ст.: А.А. Чалый, Д.В. Возруд</i>	
	<i>Рук.: доц. Л.Г. Петренко, доц. В.И. Белозерцева</i>	
7.	<b>ИНЕРЦИЯ ВОКРУГ НАС</b>	190
	<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
	<i>Ст.: А.Ю. Белозёров, Д.А. Леонтьев</i>	
	<i>Рук.: ст. пр. И.В. Галуцак, доц. Ю.В. Меньшов</i>	
8.	<b>ДВИГАТЕЛИ АВТОМОБИЛЕЙ XXI ВЕКА</b>	192
	<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
	<i>Ст.: Д.О. Ковальский, С.С. Твердохлеб</i>	

Рук.: ст. пр. И.В. Галушак, доц. Ю.В. Меньшов	
9. <b>ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ</b>	194
<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
<i>Ст. Д.А. Побережец</i>	
<i>Рук. доц. Л.Г. Петренко</i>	
10. <b>НАДТВЕРДІ МАТЕРІАЛИ</b>	196
<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
<i>Ст.: А.А. Фандеева, Д.Д. Остапчук</i>	
<i>Кер. ст. викл. І.В. Галушак</i>	
11. <b>ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЭКОЛОГИЯ</b>	197
<i>Харьковский национальный аграрный университет им В.В. Докучаева</i>	
<i>Ст. И.А. Угарова</i>	
<i>Рук. проф. С.С. Авотин</i>	
12. <b>ФИЗИКА НА КУХНЕ</b>	199
<i>Харьковский национальный аграрный университет им В.В. Докучаева</i>	
<i>Ст. А.Д. Пахомова</i>	
<i>Рук. проф. С.С. Авотин</i>	
13. <b>РАСТЕНИЯ И МАТЕМАТИКА</b>	202
<i>Харьковский национальный аграрный университет им В.В. Докучаева</i>	
<i>Ст. Н.В. Васильева</i>	
<i>Рук. проф. С.С. Авотин</i>	
14. <b>БОЗОН ХИГГСА – НОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О БУДУЩЕМ В ФИЗИКЕ</b>	203
<i>Национальный технический университет «ХПИ»</i>	
<i>Ст. К.Г. Перець</i>	
<i>Рук. ас. Ю.С. Овчаренко</i>	
15. <b>КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ</b>	205
<i>Харьковский национальный медицинский университет</i>	
<i>Ст.: И.С. Юркина, Е.О. Юнцова</i>	
<i>Рук. доц. А.А. Човпан</i>	
16. <b>МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ФРАКТАЛЫ: ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И РАЗЛИЧИЯ</b>	208
<i>Харьковский национальный университет им. В. Н. Каразина</i>	
<i>Ст. Е. Русанова</i>	
<i>Рук. доц. О.В. Лазоренко</i>	

## ПЛЕНАРНЕ ЗАСІДАННЯ

### **ТВОРЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО АКУСТИКЕ И ТЕРМОДИНАМИКЕ НА ФИЗИЧЕСКОМ КРУЖКЕ**

*Харьковский национальный университет*

*им. В.Н. Каразина*

*Ст.: Д. Долгополова, Е. Москаленко, А. Папуца,*

*К. Прудкая, Х. Разиньков, С. Филатов*

*Рук.: доц. А.Р. Казачков, инж. В.И. Костюков,*

*доц. А.Т. Котвицкий*

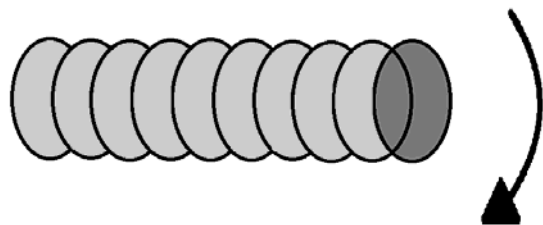
На занятиях физического кружка ХНУ имени В.Н.Каразина в 2016/17 учебном году было рассмотрено много экспериментальных задач по темам *Акустика* и *Термодинамика*. Большинство из них не только имели эффектную, необычную форму, но и позволяли осуществить их значительное творческое развитие. Так, эксперименты, первоначально выполняемые как качественные демонстрации, были преобразованы в измерительные исследования, с перспективой создания на их основе оригинальных, привлекательных для студентов лабораторных работ по курсу общей физики. Для объяснения экспериментов с неожиданным результатом были предложены гипотезы, справедливость которых проверялась расчетным и опытным путем. Были созданы компьютерные модели некоторых изучавшихся процессов и явлений, позволившие продолжить исследование с помощью виртуальных экспериментов. Следует особо отметить, что оборудование и материалы данных проектов отличались доступностью и крайне низкой стоимостью, допускали их повторное использование в других демонстрациях и учебных исследованиях.

Ниже приведены описания проектов кружка, наиболее полно сочетавших демонстрации и их всестороннее исследование. На рис.1 показан необычный музыкальный инструмент *whirly* [1].

Если взять гофрированную трубу, например гибкую или жесткую пластиковую, за один из ее концов и вращать так, чтобы второй конец описывал окружность, то труба издает мелодичные звуки. Высота тона такой мелодии зависит от длины трубы и скорости ее вращения. При закрытом отверстии трубы *whirly* прекращает «пение». Очевидно, что его причиной является ток воздуха *внутри* трубы. Возможность такого движения возникает за счет эффекта Бернулли: разность давлений воздуха в области неподвижного конца трубы (атмосферное давление) и

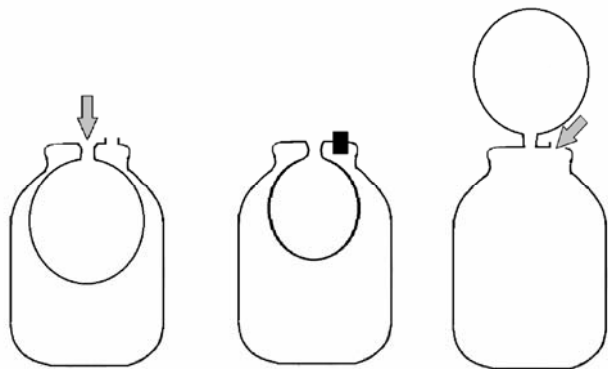


быстро движущегося и обеспечивает ток воздуха в трубе. Кроме качественных демонстраций были выполнены измерения разности давлений на концах вращаемой трубы с помощью U-образного водяного манометра. Эта разность, в зависимости от скорости вращения, составляла порядка нескольких сантиметров водного столба и хорошо согласовывалась с результатами расчетов.



**Рис. 1.** Гофрированная труба, поющая при вращении одного из концов.

Тот же U-образный водяной манометр использовался при исследовании весьма неожиданного поведения резинового воздушного шара в стеклянной банке, Рис.2.



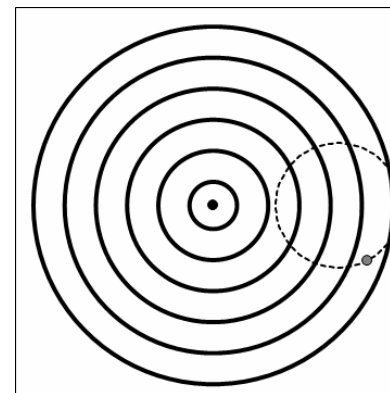
**Рис. 2.** Надувание резинового шара в стеклянной банке.

Резиновый шар, помещенный в банку, можно надуть, если второе отверстие в крышке позволяет воздуху покидать банку по мере увеличения объема шара (Рис.2 слева). Закроем второе отверстие и прекратим надувать шар. Теперь, даже если обеспечить шару прямой контакт с атмосферным воздухом, шар несколько уменьшится в объеме, но останется в раздутом состоянии (Рис.2 по центру). Это возможно благодаря пониженному давлению воздуха в банке: по мере выхода воз-

духа из шара в атмосферу его объем уменьшается, а значит, увеличивается объем воздуха, заключенного между стенками банки и шариком. При неизменной температуре увеличение объема неизбежно приводит к уменьшению давления, и шар остается раздутым, но за счет отрицательной разности давлений. Самодельный манометр позволил выполнить соответствующие измерения, в том числе и при раздувании шара вне банки через второе отверстие в крышке (Рис.2 справа).

Аналогично шар можно раздуть внутри либо вне закупоренной банки, нагревая или охлаждая воздух внутри нее, заполняя банку горячей водой, паром и т.д.

Эффект Доплера исследовался в серии натурных и виртуальных экспериментов, прежде всего для случая движущегося приемника звуковых волн (микрофон или мобильный телефон, быстро вращаемый на тросике). На Рис.3. показан случай неподвижного источника волн и циркулярно движущегося приемника (траектория обозначена пунктиром).



**Рис. 3.** Компьютерное моделирование эффекта Доплера.

Полученные акустические спектры были проанализированы с точки зрения Доплеровского сдвига частоты аналогично [2,3], при известных (измеренных дополнительно) скоростях движения источника и приемника звука.

Компьютерная модель распространения волн и движения их источника и/или приемника была создана в электронных таблицах *Microsoft Office Excel*. Анимация обеспечивалась программными алгоритмами-макросами, созданными студентами на физическом кружке ХНУ ранее [4]. Проводились виртуальные измерения регистрируемых приемником частот.

1. Coldwell L.H. *Phys. Teach.* **32**, 42 (1994).

2. Saba M.M.F, Rosa R.A.S. *Phys. Teach.* **39**, 431 (2001).
3. Saba M.M.F, Rosa R.A.S. *Phys. Teach.* **41**, 89 (2003).

4. Казачков А.Р., Аверков С.С., Игнатова О.С. Применение анимации в электронных таблицах Excel при решении задач по физике. *Материалы студ. конференции «Актуальные проблемы физики и их информационное обеспечение»*, НТУ «ХПИ» - Х., 2007, с. 20-22.

## РОЛЬ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБЩЕГО КУРСА ДИСЦИПЛИНЫ

**КП «Харьковская  
гуманитарно-педагогическая академия»**

**Ст.: А.Е. Светличная, М.А. Корюк**

**Рук. проф. М.Е. Босин**

Модели являются важным дидактическим средством практически во всех учебных дисциплинах. Особую роль они играют в естественных и математических дисциплинах. Это связано, во-первых, с невозможностью непосредственного наблюдения многих оригиналов (например, в микро- или макро- мирах) и, во-вторых, с высокой степенью абстрактности оригиналов (особенно в математических разделах). Модели выполняют не только информативную функцию, но и ряд других функций, среди которых:

- интегративная – возможность рассмотрения объекта или явления как в целом виде, так и по составным элементам;
- эвристическая – позволяет предсказывать новые черты (свойства) оригинала;
- компенсаторная – сокращает энергию и время, необходимые для изучения;
- адаптивная – делает более спокойным, равномерным процесс «погружения» в новый учебный материал;
- инструментальная – делает более рациональным труд преподавателя.

Подчеркнём, что речь идёт не о физике как науке, а об одной из учебных дисциплин. В науке модели тоже важны, но там у них другие функции (хотя некоторые функции повторяются).

В дидактике существует много признаков, по которым происходит классификация учебных моделей. По методологическому признаку все модели делятся на структурные и функциональные. Структурные модели – это таблицы, схемы, графы, рисунки и т.д., в которых изображены структурные составляющие (элементы) изучаемого объекта, явления, учебной дисциплины, её раздела, подраздела и т.д.

Функциональные модели – это графики, формулы, диаграммы и т.д., характеризующие взаимоотношения между структурными единицами. При этом структурные и функциональные модели взаимно порождают и уточняют друг друга. В принципе, вопрос о «взаимодейст-

вии» между структурными и функциональными моделями сам по себе достаточно сложен и требует отдельного рассмотрения.

Мы в своей работе коснёмся лишь роли структурных моделей в общем курсе физики, причём только в той части, где речь идёт о структурировании учебного материала. Физика является одной из тех естественных наук, где велика роль преемственности. Эта черта «спроецирована» и на учебную дисциплину, т.е. каждый раздел строится по образу и подобию предыдущих разделов.

Представим в виде структурной модели раздел физики, причём любой раздел, т.к. все они имеют подобные структуры. Каждый следующий раздел в физике, как в учебной дисциплине, есть «шаг» вглубь строения вещества (начиная от тел, заканчивая элементарными частицами), и в каждом разделе речь идёт о движении (тел, молекул, электронов,...). На Рис.1 показана структура раздела общего курса физики, включающая основные его составные части.

Рис. 1



Первая часть каждого раздела – описание самого движения с помощью введённых физических величин, классификации и уравнений, связывающих введённые величины друг с другом для каждого

вида движения. В Механике, например, этот подраздел называли Кинематикой.

Второй подраздел – причинный. В нём выясняются причины всех возможных движений как качественно, так и количественно – с помощью уравнений, связывающих причинные величины с величинами, описывающими само движение. В Механике этот подраздел называется Динамикой. В нём вводятся сила, момент силы, импульс, момент импульса и т. д., зная которые можно рассчитать ускорение, скорость, угловое ускорение, угловую скорость и т. д. Механика изучает движения тел, а тела бывают твердые, жидкие и газообразные, поэтому перечисленные на рис. 1 задачи приходится решать трижды.

Третья часть каждого раздела – энергетическая. В ней вводятся фундаментальные понятия: энергия, работа, мощность. В итоге обсуждаются методы реализации энергии, т. е. то, ради чего изучалось всё предыдущее.

Именно такая идеология – («как?», «почему?», «зачем?») просматривается во всех разделах общего курса физики и, возможно, во всех разделах естествознания. Подчеркнём также, что, наполнив конкретным содержанием структурную модель, изображённую на рис. 1, для всех разделов общего курса физики, можно создать структурную модель всего курса – Атлас общего курса физики, который может быть путеводителем при самостоятельном изучении курса физики.

Интересно также то, что практически во всех разделах общего курса физики есть законы-аналоги, т.е. проявления наиболее общих законов и свойств природы. Достаточно в качестве примера привести свойство инертности: инертны тела, инертны молекулы, электроны, ионы, нуклоны, мезоны, электрические и магнитные поля – инертно всё, включая развитие общества, мысль человека и т. д. Всё это может найти место в структурных моделях.

## **ВИЗНАЧЕННЯ ЗАГАЛЬНОГО ЦЕНТРУ МАС СПОРТСМЕНА ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ З БІОМЕХАНІКИ ЗАСОБАМИ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*Харківська державна академія фізичної культури*

*Ст. А.Ф. Казмірчук*

*Кер.: проф. В.С. Ашанін, доц. О.В. Басенко*

Інформатизація всіх сфер людської діяльності є глобальною тенденцією світового розвитку. Сучасні комп'ютерні технології грають важливу роль в інформатизації освіти – області, від якої безпосередньо залежить всебічне становлення компетентних майбутніх фахівців.

Сучасний спорт висуває значні вимоги до навчально-тренувальної діяльності спортсмена. Теорія спортивної техніки повинна випереджувати реальну дійсність та прогнозувати оптимальні механізми рухових дій, виходячи з потенційних можливостей такої механічної системи, якою є тіло людини. Механічні рухи тіла людини та будь-якого іншого фізичного тіла у полі земного тяжіння, підпорядковуються законам механіки. Усе це розглядає спортивна біомеханіка, метою якої є підвищення майстерності спортсменів та встановлення ними рекордів.

Одним із факторів, що дозволяють ефективно управляти процесом освоєння і технічного вдосконалення різноманітних рухів у будь-якому виді спорту є визначення правильного положення загального центру мас спортсмена. Студентам вузів спортивного профілю як майбутнім фахівцям фізичної культури та спорту необхідно володіти такими знаннями.

Тому, враховуючи істотну роль інформатизації освіти та значущість біомеханічного аналізу рухових дій в спортивній майстерності, **мета нашого дослідження** – розробити та впровадити в навчальний процес комп'ютерну програму визначення загального центру мас спортсмена для оптимізації проведення практичних занять з біомеханіки.

Для досягнення поставленої мети нами вирішувалися наступні **завдання**

1. Проаналізувати літературні джерела та практичний досвід використання комп'ютерних технологій у навчальному та тренувальному процесах студентів вузів спортивного профілю.

2. Розробити та експериментально перевірити комп'ютерну програму визначення загального центру мас тіла спортсмена.

3. Виявити зацікавленість студентів у використанні комп'ютерної програми на практичних заняттях з біомеханіки.

Для вирішення поставлених завдань ми використовували такі **методи дослідження**: теоретичний аналіз та узагальнення літературних джерел; комп'ютерне програмування; педагогічне спостереження та експеримент; анкетування; методи математичної статистики.

**Об'єкт дослідження** – навчальний процес студентів вузів спортивного профілю.

**Предмет дослідження** – методика використання комп'ютерних технологій при проведенні практичних занять з біомеханіки.

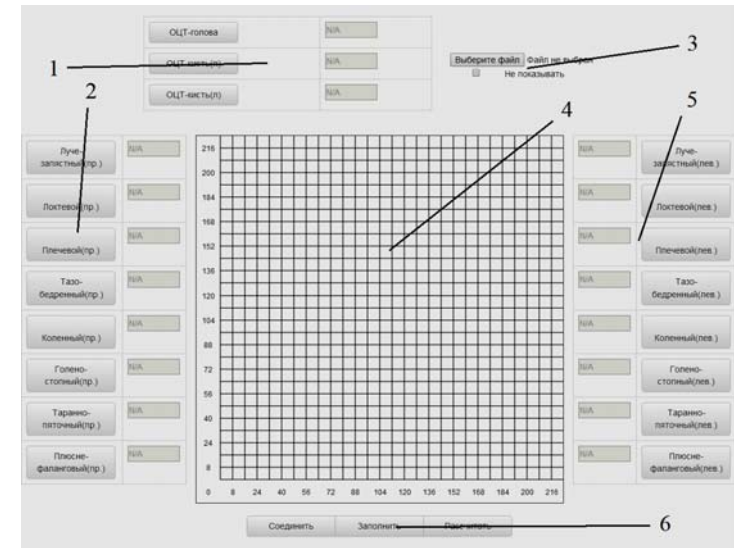
**Результати дослідження.** Аналіз літературних джерел та практичного досвіду показав, що сучасний період розвитку інформатизації освіти характеризується пошуком і впровадженням інноваційних форм навчання та інтегративним підходом до створення засобів нових інформаційних технологій.

Нами виявлено, що існує достатня кількість робіт, присвячених використанню інформаційних технологій у навчальному процесі вузів спортивного профілю, зокрема з курсу біомеханіка (В.С. Ашанін, С.В. Гаркуша, Ю.І. Петренко, Е.Р. Ахмедзянов, О.Ю. Дмитрієв, О.В. Басенко та ін.), та використанню інноваційних технологій аналізу рухових дій у спортивній діяльності (В.В. Романенко, В.С. Ашанін, Н.П. Кизим та ін.) але, на наш погляд, ці питання розглянуто недостатньо.

Враховуючи те, що інформатизація освіти галузі фізичної культури та спорту вимагає використання нових засобів навчання створених на основі сучасних інформаційних технологій [4] та важливість управління руховими діями для вдосконалення спортивної майстерності спортсменів [1, 3], нами була розроблена комп'ютерна програма, яка проводить розрахунок центрів мас біологів та визначає загальний центр мас тіла спортсмена при виконанні фізичних вправ, за допомогою його цифрового зображення.

Комп'ютерна програма створена за допомогою мови програмування JavaScript та рекомендована до використання в останніх версіях браузерів Google Chrome, Opera та Mozilla Firefox, що робить її доступною широкому колу користувачів. В основу програми покладено методику О. Фішера та М. Бернштейна.

Робоче вікно комп'ютерної програми складається з шести частин (рис. 1).



**Рис. 1.** Робоче вікно комп'ютерної програми

(1 – панель розстановки центрів тяжіння голови і кистей, 2 – панель розстановки суглобів правої частини тіла, 3 – панель для роботи з графічними зображеннями, 4 – графічна координатна вісь, 5 – панель розстановки суглобів лівої частини тіла, 6 – панель управління розрахунками таблиці та графічної частини).

Для отримання розрахунків на координатну вісь наноситься цифрове зображення за допомогою панелі для роботи з зображеннями. Наступним кроком по анатомічним та антропометричним орієнтирам наносяться точки суглобів лівої і правої частин тіла, а також центри тяжіння голови та кистей (для цього використовуються панелі 1, 2, 5, зображені на рис. 1). Варто зазначити, що центри суглобів та центри мас окремих біологів відображаються різними маркерами (рис. 2).

Розрахунок центра мас (ЦМ) кожної біологки, а також розрахунок загального центру мас (ЗЦМ) всього тіла відбувається після натиснення на кнопку «Заповнити». Після чого в нижній частині вікна з'являється таблиця з розрахунками, а на координатній осі відображаються отримані точки – відповідні ЦМ кожної біологки (рис. 2). В таблиці у рядку «Координати» відображаються координати ЗЦМ всього тіла.

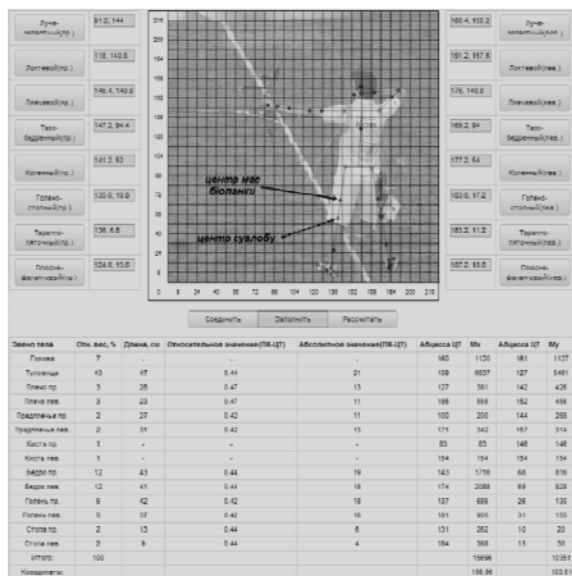
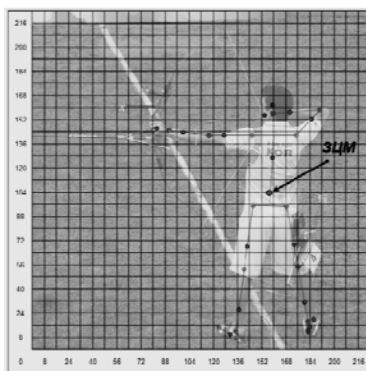


Рис. 2. Вікно програми з розрахунковою таблицею визначення ЗЦМ тіла спортсмена.

Після натиснення кнопки «Розрахувати» (на панелі 6, зображеної на рис. 1) з'являється зображення ЗЦМ тіла спортсмена на координатній осі у вигляді синьої (значно великої) точки (рис. 3).

Рис. 3. Вікно визначення ЗЦМ тіла спортсмена.

Розроблену комп'ютерну методику визначення загального



центру мас спортсмена було впроваджено в навчальний процес студентів 2-го курсу заочної форми навчання Харківської державної акаде-

мії фізичної культури на практичних заняттях з дисципліни біомеханіка.

Робоча програма з курсу біомеханіки окрім практичних занять передбачала розрахунково-графічну роботу по визначенню загального центру мас тіла при виконанні спортсменом різних фізичних вправ, яка виконується на міліметровці [2].

Студенти (n=45) спочатку визначали ЗЦМ тіла спортсмена традиційним механічним методом за допомогою біокінематичної схеми, олівця та лінійки, а потім за допомогою розробленої комп'ютерної програми. Відповідність отриманих результатів, тобто точок ЗЦМ тіла спортсмена як комп'ютерним та механічним методом дозволяє зробити висновок щодо надійності розробленої комп'ютерної програми.

Із 45 студентів тільки у 4,4% спостерігалися значні розбіжності у розташуванні ЗЦМ (похибка більше ніж 5% на координатній осі X або Y), та у 11,1% – незначні (похибка до 5% на координатній осі X або Y).

Але після детального перегляду розрахунків на міліметровці, розбіжностей виявлено не було, що дозволяє говорити про надійність розробленої комп'ютерної програми.

Після практичного заняття було проведено анкетування студентів для виявлення їх зацікавленості у використанні комп'ютерних технологій у навчальному процесі курсу біомеханіки.

Отримані дані виявили, що 64,5 % студентів вважають, що використання комп'ютерних технологій при проведенні лекційних занять доповнює процес навчання, 31,1 % – покращує. На питання якому способу проведення практичних занять ви віддаєте перевагу 84 % студентів обрали комбінований, 7 % – за допомогою комп'ютерних програм, та жоден не обрав традиційний, за допомогою механічних розрахунків. Також у жодного студента не виникали труднощі при роботі з комп'ютерною програмою. Оцінюючи комп'ютерну програму за 5-ти бальною шкалою, 69 % студентів оцінили її на 5 балів, а 31 % – на 4. Та всі студенти (100 %) хотіли би використовувати комп'ютерні програми для всього курсу біомеханіки.

Дану комп'ютерну програму можна використовувати не тільки у навчальному процесі, але й у тренувальному. У спортивній практиці всі рухи цілеспрямовані, а ефективність різних варіантів рухів залежить від того, наскільки раціонально спортсмен використовує свої можливості і закони рухів. При підготовці спортсменів з різних видів спорту тренери матимуть змогу за допомогою програми вносити зміни у тренувальний процес та удосконалювати його.

Комп'ютеризація сфери наук (теоретична механіка, біофізика, біомеханіка, фізіологія, психофізіологія та ін.), пов'язаних з руховими актами, дозволяє на науковій основі будувати алгоритми навчання і вдосконалення техніки реалізації складних рухів.

Корекція неправильних з технічного боку дій, крім іншого, повинна спиратися на інформацію про фізико-механічні параметри руху і бути спрямованою на встановлення меж їх оптимальних значень, що визначаються виконанням того чи іншого закону (теореми про рух центра мас, про зміну кількості руху, кінетичного моменту, кінетичної енергії механічної системи, умови рівноваги довільних систем сил та ін.). При цьому пошук можливого логіко-вербального пояснення вимог залишається за грамотним тренером.

### **Література:**

1. Ашанин В. С. Использование компьютерных технологий при оценке сенсомоторных реакций в единоборствах / В. С. Ашанин, В. В. Романенко // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків: ХДАФК, 2015. – №4 (48). – С. 15-18
2. Ашанин В. С. Методические рекомендации для проведения практических работ по дисциплине биомеханика / В. С. Ашанин, Ю. И. Петренко, Е. В. Басенко. – Харьков: ХГАФК, 2017. – 96 с.
3. Кызим Н. П. Компьютерные технологии и их использование в оценке двигательных качеств спортсмена (на примере акробатического рок-н-ролла) / Н. П. Кызим, А. К. Светлова, Е. В. Басенко // Слобожанський науково-спортивний вісник: Зб. наук. статей. – Харків: ХДАФК, 2005. – № 8. – С. 247-251.
4. Петренко Ю. І. Використання інформаційних технологій у навчальному процесі ВНЗ фізичної культури як засіб формування біомеханічних знань / Ю. І. Петренко, В. С. Ашанин, О. В. Басенко // Фізична культура, спорт та здоров'я: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 10-11 грудня 2015 р.) [Електронний ресурс]. – Харків : ХДАФК, 2015. – С. 279-280. – Режим доступу: [http://hdafk.kharkov.ua/docs/konferences/4/konf\\_10\\_12\\_2015.pdf](http://hdafk.kharkov.ua/docs/konferences/4/konf_10_12_2015.pdf).

## **РОЗРОБКА ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ ЗАСОБАМИ СУЧАСНИХ ПРОГРАМНИХ ПАКЕТІВ**

**<sup>1</sup>Харківський національний університет  
радіоелектроніки**

**<sup>2</sup>Харківський національний університет  
Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба  
Ст.: Є.Ю. Мельник<sup>1</sup>, В.В. Небрат<sup>1</sup>  
Кер.доц. Д.С. Сидоренко<sup>2</sup>**

Наш час характеризується стрімкою появою новітніх технологій у всіх галузях сучасної науки і техніки. Особливої активності даний процес набуває у галузі інформаційно-комунікаційних технологій.

Однією з таких новітніх і революційних технологій є технологія віртуальних приладів, що дозволяє створювати системи вимірювання, управління та діагностування різного призначення майже будь-якої довільної складності. Сутність даної технології полягає в комп'ютерній імітації роботи реальних фізичних приладів, вимірювальних та керуючих систем за допомогою спеціального програмного продукту.

Термін «віртуальний» не повинен вводити в оману, оскільки прилади, реалізовані за даною технологією, насправді є реальними, що працюють з реальними фізичними вхідними сигналами. Віртуальність тут розуміється лише у сенсі створення віртуальної імітації основних функцій приладу математичними та програмними засобами.

Вибір певного пакету програм залежить від обчислювальних ресурсів персонального комп'ютера, що використовується.

Середовище моделювання, як і сама модель, повинне строго відповідати поставленому завданню. Тому питання «Що є кращим?» є некоректним і, на наш погляд, має сенс лише в формулюванні «Що є кращим для вирішення даного завдання?».

Перед побудовою моделі необхідно чітко й однозначно сформулювати мету та визначити завдання моделювання. Необхідно ретельно стежити за тим, щоб рівень моделі строго відповідав поставленим при моделюванні (задачам). Украй небажаним є будь-яке, не обумовлене поставленими задачами, переускладнення моделі.

Далі необхідно переконатися в доступності моделей всіх елементів, які необхідні для якісного моделювання системи. Під доступністю розуміється наявність моделі в стандартних бібліотеках, або

наявність моделі аналога необхідного елемента, або можливість розробки власної моделі.

Крім того, повинна існувати велика кількість бібліотек, що включають від одного до декількох елементів, номенклатура яких постійно поповнюється.

Поява ПП LabVIEW дозволила істотно спростити і зробити універсальним комплекс об'єкт-вимірювання. З'явилася можливість на основі датчика, аналогово-цифрового перетворювача і відповідних програмних засобів здійснювати функції безлічі вимірювальних приладів різного призначення, а також функції обробки результатів вимірювань.

LabVIEW надає можливість одночасного здійснення функцій багатьох приладів електровимірювань (осцилографи, аналізатори спектру, вимірювачі частоти), а також функції спеціального математичного забезпечення для обробки результатів вимірювань, що якнайповніше задовольняє вимогам дослідника.

Програми моделювання можуть з успіхом використовуватися і в освітньому процесі. Це позбавляє від необхідності робити значні витрати на придбання обладнання для лабораторних робіт, виключає відмови обладнання із-за помилкової комутації, дозволяє досліджувати багато режимів роботи пристроїв, які недопустимі в реальних макетах.

Основні особливості розробки віртуальних лабораторних стендів полягають в збереженні функціональних властивостей конкретного лабораторного обладнання, всіх елементів управління і захисту, які входять в стенд. Це дозволяє застосовувати віртуальні стенди як методичний інструмент при заочному та дистанційному навчанні.

У доповіді розглянуті основні аспекти створення віртуальних вимірювальних систем, наводяться приклади практичного використання ПП LabVIEW у освітньому процесі при проведенні лабораторного практикуму з дисципліни «Електродинаміка та поширення радіохвиль».

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Сидоренко Д.С. Віртуальні лабораторні комплекси в галузі радіотехніки, електроніки та телекомунікацій. Монографія. Том 1. – Х.: Найкраще місто, 2014. – 451 с.

## ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ РУШІЇ

### Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ст. А.В. Дрегваль

Кер. проф. О.П. Сук

**Мета роботи** – з'ясувати перспективи практичного використання електромагнітів як основи для різноманітних рушіїв.

Електромагніт – це пристрій, який генерує магнітне поле внаслідок проходження електричного струму по його обмотці. Перший електромагніт підковоподібної форми створив англійський інженер-електрик В. Стерджен. Згодом американський фізик Дж. Генрі удосконалив електромагніт – він став ізолювати вже не осердя, а власне дріт; з'явилася можливість намотувати витки в кілька шарів. З того часу всі електромагніти містять котушку зі струмопровідною обмоткою, намагнічене осердя (нерухома частина) та якір (рухома частина) [1]. Нині використання електромагнітів дуже різноманітне. У електротехніці – це створення магнітного потоку (в електричних машинах і апаратах) і магнітного зусилля (в підйомних магнітах).

Електромагніти є найпоширенішими перетворювачами електричного сигналу в механічний рух тобто електромагнітними рушійми. У останні десятиріччя ці рушії дали змогу впровадити велику кількість проривних рішень – від потягів на магнітній подушці («маглевів») до мотор-коліс з різними схемами перетворення.

Електрорушійна система маглева використовує основну властивість магнітів – відштовхування та притягання їхніх полюсів. В основі технології магнітного підвісу лежать три основні підсистеми: левітація, стабілізація та прискорення [2]. На сьогоднішній день існує три основні технології магнітного підвісу (рис.1). У доповіді проведено огляд фізичних принципів роботи зазначених систем та їхніх практичних застосувань у діючих системах сполучень.

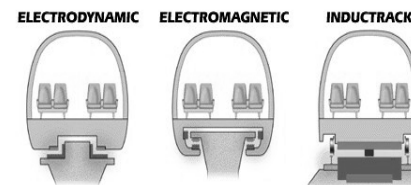


Рис. 1

Інший напрям розвитку електромагнітних рушіїв – створення надмалого персонального транспорту (мотор-колеса для велосипедів, гіроборди, моноколеса тощо). Як приклад у доповіді висвітлено принцип дії одного з таких пристроїв – дешевого електричного велосипед-

ного мотор-колеса зовсім невеликих розмірів і малої ваги, але з відмінним показником крутного моменту [3]. У цьому пристрої імпульсний інерційний електрорушій інтегрований у внутрішній простір колеса транспортного засобу, не має редуктора, шестерень і трансмісії, тому він виявився міцним і довговічним. К.К.Д. двигуна сягає 83%. Конструктивно електрорушій цього мотор-колеса схожий з електрогенератором Дж. Серла [4]. Нині подібні мотор-колеса для велосипедів випускають масово.

Ще одну нагоду для створення нового колеса може надати винахід [5]. Особливість винаходу - відсутність впливу на колесо зовнішньої рушійної сили, тобто

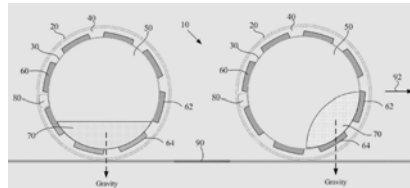


Рис. 2

відсутність деталей, які піддавалися б зносу. Колесо обладнано електромагнітами, а всередині розташований рушійний елемент (магнітна рідина або куля з магнітного матеріалу). Електромагніти

активуються вибірково і рушійний елемент притягується до них (рис. 2). Центр мас колеса зміщується, змушуючи його крутитися. Можливість вибірково активувати електромагніти дає змогу скеровувати колесо у будь-який бік. Розробку планують використовувати для системи руху роботів. У доповіді приведено наближені розрахунки для з'ясування можливості практичної реалізації такого колеса.

#### Список літератури:

1. Сливинская А. Г. Электромагниты и постоянные магниты. - М., Энергия, 1972 – 248 с.
2. Скрипин В. Поезда на магнитной подушке – транспорт, способный изменить мир - <http://itc.ua/articles/poezda-na-magnitnoy-podushke-transport-sposobnyiy-izmenit-mir>
3. Мотор-колесо Шкондина - <http://www.electra.com.ua/istoricheskie-fakty/454-motor-koleso-shkondina.html>
4. Сорокин В.А., Тимохович А.С. Генератор на эффекте Серла, принцип работы и конструкция // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. - 2014. №10.
5. System and Method for Electromagnetic-based Propulsion – United States Patent No US 9,390,847 B1, Jul. 12, 2016. URL: <http://patentyogi.com/wp-content/uploads/2016/07/US9390847.pdf>

## ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ КОМП'ЮТЕРНОЇ МІКРОСКОПІЇ

*Національний технічний університет*

*«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст.: О.В. Воїнов, А.С. Семенова, Я.Р. Широкопад*

*Кер.: доц. І.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко,*

*інж. О.В. Синельник, інж. С.М. Колубасєва*

Оптична мікроскопія є одним з провідних методів дослідження об'єктів, процесів та явищ у фізиці, біології, медицині, техніці та інших галузях. Винахід мікроскопу докорінно змінив рівень пізнання людиною оточуючого світу, дозволив вивчати явища, які неможливо побачити за допомогою лише органів зору. Головною вадою мікроскопії як методу дослідження є суб'єктивний характер сприйняття зображення досліджуваного об'єкту. Тому з появою засобів реєстрації оптичного зображення (фотографії, відеокамери) дослідники намагалися використати їх можливості для отримання доступних для об'єктивного вивчення зображень мікрооб'єктів. З появою та розвитком комп'ютерних технологій реєстрації оптичних зображень та опрацювання графічної інформації з'явився новий напрям в дослідженні – комп'ютерна мікроскопія. Цифрові USB мікроскопи відносять до сучасного обладнання високого класу. Вони дуже зручні та функціональні, дозволяють робити відео та фото досліджуваних об'єктів. Їх застосовують в багатьох науково-дослідних, медичних лабораторіях, в криміналістиці, біології, матеріалознавстві.

Метою даної роботи було з'ясувати фізичні закони та принципи, які лежать в основі комп'ютерної мікроскопії, вивчити та експериментально перевірити основні способи отримання цифрового зображення мікроскопічних об'єктів.

Мікроскопія – сукупність методів дослідження для вивчення об'єктів малих розмірів шляхом отримання їх збільшеного зображення за допомогою мікроскопа. В сучасній науці існують різні види мікроскопії – оптична, електронна, рентгенівська, лазерна тощо. В межах цього дослідження розглянуто оптичну мікроскопію. Одними з найважливіших параметрів мікроскопа є його збільшення і роздільна здатність. Збільшення мікроскопа залежить від характеристик системи об'єктив – окуляр. Його розраховують шляхом множення розміру збільшення, отриманого об'єктивом, на розмір збільшення, що дається окуляром. Роздільна здатність – здатність оптичного пристрою відтворю-



вати зображення близько розташованих предметів, що визначає можливість відображення предметів щонайменших розмірів. Вона залежить від довжини хвилі та числової апертури і обмежується роздільною здатністю об'єктива.

Комп'ютерна мікроскопія – метод дослідження мікрооб'єктів шляхом вивчення їх збільшеного зображення на екрані комп'ютера. Тому в основі комп'ютерної мікроскопії лежить процес отримання збільшеного зображення досліджуваного об'єкта. Розрізняють декілька видів збільшення. По-перше, оптичне збільшення, яке відбувається фізично, за допомогою лінз об'єктива, або об'єктива та окуляра. При такому збільшенні якість зображення не втрачається, саме воно забезпечує здатність системи в цілому розрізняти мікроскопічні об'єкти. По-друге, це – проективне збільшення, яке виникає в процесі проектування зображення, отриманого оптичними методами на чутливий елемент, що перетворює його в цифрове – матрицю web-камери, цифрового фотоапарата або цифрової відеокамери, а також завдяки різному фізичному розміру одиниці цифрового зображення (пікселя) матриці та монітора. Нарешті, існує цифрове збільшення, яке виникає завдяки різній роздільній здатності матриці та монітора, та реалізується програмними засобами. В процесі програмного опрацювання відеозображення можливі додаткові втрати через застосування алгоритмів стиснення даних для відображення в реальному часі.

У ході виконання наукової роботи було зроблено USB-мікроскоп на основі web-камери. Для цього створено і експериментально перевірено декілька схем для отримання зображення на екрані комп'ютера:

1. *Обернення оптичної системи web-камери.* Принцип дії цієї схеми заснований на збільшенні відстані між об'єктивом web-камери та її матрицею. Об'єктиви web-камер мають маленьку фокусну відстань – 3-4 мм, тому будь-який об'єкт, зображення якого отримують з їх допомогою, знаходиться на відстані, що перевищує подвійну фокусну, а отже на невеликій за розміром матриці, що знаходиться безпосередньо за об'єктивом, формується зменшене зображення. Застосування принципу зворотного ходу променів дозволяє отримати збільшене зображення. Збільшення буде тим більшим, чим далі від лінзи об'єктива знаходиться матриця. На рис. 1, 2 подано зображення, отримані таким чином на екрані монітора. Оскільки оптичні властивості об'єктива web-камери обмежені, то доцільно було застосувати об'єктиви з більшою роздільною здатністю та збільшенням.

2. *Поєднання web-камери з оптичними об'єктивами мікроско-*

*па, фотоапарата, фотозбільшувача.* Для реалізації цієї схеми зроблено установку, де спостереження зображення, створеного відповідними об'єктивами, відбувається за допомогою web-камери з прямим або зворотним ходом променів.

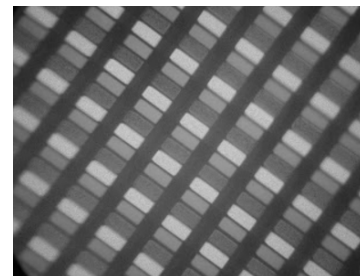


Рис.1. Зображення пікселів дисплея смартфона, отримане з web-камери, використаної як мікроскоп.

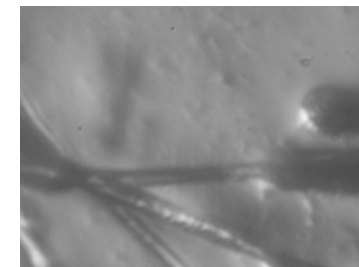


Рис. 2. Зображення отримане з web-камери, використаної як мікроскоп (тканина).

3. *Поєднання web-камери з мікроскопом.* Реалізація цієї схеми відбувалась шляхом розташування web-камери у точці ока мікроскопу для подальшого відображення на екрані комп'ютера. Технічні проблеми, які виникають в процесі її практичного відтворення, це – необхідність фіксації web-камери для отримання стабільного зображення; необхідність подовження тубусу мікроскопа для зменшення зайвого освітлення об'єктива web-камери; необхідність суміщення оптичних осей мікроскопа та web-камери.

Додатково розглянута можливість застосування для реєстрації зображення камери мобільного телефону або смартфона. За своїми оптичними характеристиками така камера навіть краща за web-камеру. Розташовуючи об'єктив камери смартфона (телефона) безпосередньо за окуляром вдалось записати відеозображення броунівського руху.

Отже, основною перевагою мікроскопа виготовленого з web-камери є те, що він надає можливість об'єктивного спостереження результатів оптичного збільшення мікроскопічних об'єктів, записувати та обробляти отримане зображення. Крім того, він – відносно простий у виготовленні, має достатнє збільшення, не псує зір, тому що досліджувані об'єкти спостерігаються на екрані комп'ютера.

## **НАУКОВО-ДОСЛІДНА, ІНЖЕНЕРНА СЕКЦІЯ**

### **РОЗРОБКА КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ КОМПЛЕКСУ ДЛЯ АТЕСТАЦІЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛЕЙ ПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА**

*Національний технічний університет «ХПІ»*

*Ст. Д.С. Прокопенко*

*Кер.: доц. Д.А. Кудій, с.н.с. М.В. Кіріченко,*

*доц. Р.В. Зайцев*

Під час розробки, а також проведення вхідного контролю фотоелектричних модулів (ФЕМ), що закуповуються для комплектації сонячних електростанцій необхідно визначати їх вихідні параметри. Для цього зазвичай вимірюють світлову вольт-амперну характеристику при освітленні випромінюванням, спектральний склад якого є наближеним до сонячного світла.

Розроблено конструктивне рішення вимірювального комплексу до складу якого входить освітлювач, що складається з шести студійних ксенонових фотоспалахів Falcon Eyes SS 150BJ та дозволяє проводити атестацію ФЕМ площею до 2 м<sup>2</sup>. Контроль потужності випромінювання здійснюється за допомогою еталонного фотоперетворювача. Для використання в якості опору навантаження розроблено схемотехнічне рішення та виготовлено магазин опорів навантаження, в якому комутація резисторів здійснюється за допомогою MOSFET транзисторів типу IRFZ48Z, що мають у відкритому стані дуже мале (0,011-0,012 Ом) значення опору каналу і не вносять таким чином істотної похибки у величину опору навантаження навіть під час вимірювання струму короткого замкнення. Реєстрація падіння напруги на опорі навантаження здійснюється за допомогою цифрового осцилографу типу RIGOL DS1052E, що має можливість безпосереднього підключення к персонального комп'ютеру. Стабілізацію напруги живлення елементів вимірювального комплексу забезпечує стабілізатор напруги SVEN AVR-3000.

Апробація виготовленого стенду проводилась при освітленні ФЕМ промислового виробництва випромінюванням потужністю від 1000 до 2000 Вт/м<sup>2</sup>, спектральний склад якого відповідає заатмосферному сонячному випромінюванню. Встановлено, що виготовлений комплекс забезпечує адекватне відтворення умов роботи ФЕМ. Показано, що потужність випромінювання 1700 Вт/м<sup>2</sup> є оптимальним значенням, при якому забезпечується збільшення максимальної потужності ФЕМ більш ніж до 450 Вт порівняно із типовою величиною 250-270 Вт.

## **СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ В СУПЕРИОННЫХ СОЕДИНЕНИЯХ НА ОСНОВЕ ГАЛОГЕНИДОВ МЕДИ**

*Харьковский национальный университет*

*радиоэлектроники*

*Ст. А.В. Репечинский*

*Рук. доц. Е.Н. Коваленко*

Комплексные соединения, содержащие ионы Cu привлекают внимание исследователей из-за их необычных свойств. Склонность меди к переменной валентности приводит к образованию соединений одно- и двухвалентной меди. Многие соединения двухвалентной меди принадлежат к ферро и антиферромагнетикам, к ним относится также целый ряд высокотемпературных сверхпроводников. В связи с этим электронный спектр соединений двухвалентной меди изучен достаточно подробно. Гораздо менее исследован спектр комплексных соединений одновалентной меди. В то же время, многие соединения, содержащие ионы Cu<sup>+</sup>, принадлежат к суперионным проводникам. Интерес к суперионным соединениям обусловлен в значительной степени их практическим применением, причем область применения суперионных материалов непрерывно расширяется.

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал о структуре, электропроводности, теплоемкости и других физических свойствах суперионных проводников. Спектры поглощения суперионных проводников на основе галогенидов меди не исследовались. Однако, как показали исследования спектров поглощения классических суперионных соединений, переход в суперионное состояние сопровождается значительным изменением характеристик низкочастотных экситонных полос, вызванным фазовыми переходами и рассеянием экситонов на созданных дефектами Френкеля флуктуациях внутреннего электрического поля.

Основной целью настоящей работы является изучение спектров поглощения тонких пленок комплексных соединений системы MeHal-CuHal в области фундаментальной полосы, установление связи между электронным спектром поглощения и строением кристаллической решетки соединений, исследование спектра в широком интервале температур, включающем температуры фазовых переходов, а также

влияние фазовых переходов на основные характеристики (спектральное положение, полуширину) экситонных полос соединения.

Для твердых электролитов  $\text{RbCu}_4\text{Cl}_3\text{I}_2$ ,  $\text{CsCu}_4\text{Cl}_3\text{I}_2$  установлено существование трех фаз: двух упорядоченных ( $\gamma$ - и  $\beta$ -фазы) и супер-ионной ( $\alpha$ -фаза). Переход в супер-ионное состояние сопровождается не только резким ростом ионной проводимости, но и аномалиями в температурной зависимости теплоемкости, скачками и изломами в температурных зависимостях параметров экситонных полос (рис.1).

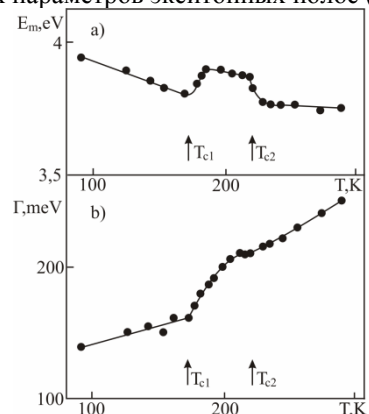


Рис.1. Температурная зависимость спектрального положения  $E_m(T)$  (a) и полуширины  $\Gamma(T)$  (b) полосы поглощения в  $\text{RbCu}_4\text{Cl}_3\text{I}_2$ .

Обнаруженные особенности связаны с фазовыми переходами  $\gamma \rightarrow \beta$  и  $\beta \rightarrow \alpha$  и генерацией большого числа дефектов Френкеля, сопровождающегося разупорядочением катионной Cu подрешетки. Разупорядочение решетки, приводит к флуктуациям внутреннего электрического поля и дополнительному рассеянию экситонов на флуктуациях поля.

#### Литература:

1. Geller S., Ray A., Nag K. Electrical Conductivity and Phase Transitions of The Solids Electrolyte System  $(\text{Cs}_{1-y}\text{Rb}_y)\text{Cu}_4\text{Cl}_3(\text{I}_{2-x}\text{Cl}_x)$  // J. Solid State Chem.-1983.-v.48,-p.176-188.
2. Милославский В.К., Сунь Цзя-Линь Оптические спектры и экситоны в супер-ионном проводнике  $\text{KAg}_4\text{I}_5$ . // Функц. мат.-1995.-т.2, N4.-с.438-444.
3. Гуревич Ю.А., Харкац Ю.И. Супер-ионные проводники // М.:Наука, ГРФМЛ.-1992.-284с.

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНА ПОТУЖНІСТЬ ПОЛІКРИСТАЛІВ $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ ПОБЛИЗУ ПЕРЕХОДУ НАПІВМЕТАЛ-НАПІВПРОВІДНИК Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

Ст. Ю.С. Богданов

Кер.: м.н.с. Г.М. Дорошенко, проф. О.І. Рогачова

Унікальною особливістю системи  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  є складний характер залежності зонної структури від вмісту Sb поряд з необмеженою розчинністю компонентів один в одному [1]. Так, в  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  при  $x \sim 0.06 - 0.07$  відбувається перехід від напівметалічних сплавів до непрямоzonних напівпровідників, а при  $x \sim 0.08 - 0.09$  – перехід непрямоzonний - прямоzonний напівпровідник. Наявність електронних фазових переходів дозволяє очікувати немонотонну поведінку властивостей  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  зі складом, що привертає увагу не тільки з наукової, але і з практичної точок зору, бо тверді розчини  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  відомі як найкращі термоелектричні (ТЕ) матеріали за температур  $< 200$  К [1]. Ефективність термоелектриків визначається ТЕ добротністю  $Z = P/\lambda$ , де  $P = S^2\sigma$  – ТЕ потужність ( $S$  – коефіцієнт Зеебека,  $\sigma$  – електропровідність), а  $\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності. Раніше [2] було виявлено екстремальну поведінку  $\lambda(x)$  у  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  поблизу переходу напівметал-напівпровідник.

Мета роботи – детально дослідити залежність  $P(x)$   $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  в інтервалі  $x = 0.045 - 0.095$ . Об'єкти дослідження – полікристали  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$ , що піддавались гартуванню на повітрі та відпалу протягом 720 годин [2]. Вимірювання  $S$  проведено компенсаційним методом відносно Cu електродів,  $\sigma$  – чотирьохзондовим методом за 300 К.

Підтверджено наявність аномального максимуму  $\sigma$  та мінімуму  $S$  при  $x \sim 0.07$ . Встановлено, що залежність  $P(x)$  повторює залежність  $S(x)$  та має мінімум поблизу переходу напівметал - непрямоzonний напівпровідник ( $x \sim 0.075$ ).

#### Література:

1. Tritt T.M. (ed.) Semiconductors and Semimetals: Recent Trends in Thermoelectric Materials Research I, Vol. 69. – San Diego, Academic Press, 2001. – P. 101-137.
2. Rogacheva E.I. Thermal Conductivity in  $\text{Bi}_{1-x}\text{Sb}_x$  Solid Solutions / E.I. Rogacheva, A.N. Doroshenko, O.N. Nashchekina, Yu.V. Men'shov // J. Electron. Mater. – 2013. – № 42. – P. 2098-2102.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ПЛАТЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВОГО КОТЛА

*Харьковский национальный университет*

*радиоэлектроники*

*Ст.: К.А. Пильгуй, Г.И. Потапов*

*Рук. доц. Р.П. Орел*

С помощью тепловизионного контроля электрооборудования имеется возможность выявления различных дефектов уже в процессе их первоначального формирования, предупреждая варианты аварийного выхода электроустановок из строя и позволяя проводить плановые ремонты. Кроме того, такое обследование сегодня считается одним из самых эффективных в плане предупреждения пожаров.

Физические принципы основаны на способности электрического тока при прохождении через проводник или некачественный диэлектрик, выделять некоторое количество тепла, которое можно зафиксировать с помощью специального прибора – тепловизора. Такой метод контроля состояния электрооборудования менее трудоемок по сравнению с традиционными схемами исследования и позволяет выявлять неисправности без прерывания технологических циклов.

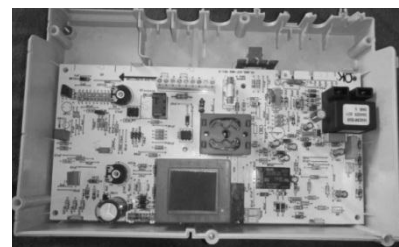
При этом обеспечиваются:

- Создание компьютерного архива результатов контроля для ретроспективного анализа и прогнозирования технического состояния электроустановок, планирования эксплуатационных мероприятий и обновления.
- Выявление средствами тепловизионного контроля случаев неадекватности сведений о проведении регламентных мероприятий и периодических испытаний электроустановок на объектах проверки;
- Обнаружение дефектов, оценка степени их опасности, получение прямой экспериментальной информации для оценки остаточного ресурса объекта и разработка рекомендаций по устранению дефектов и предотвращению их развития;
- Объективная инструментальная фиксация фактического состояния электрооборудования (по тепловому полю) посредством термограмм и фотографий, прилагаемых к отчету.

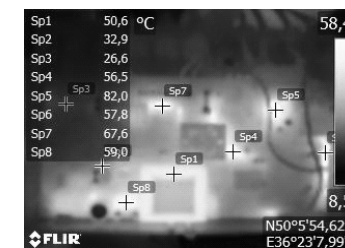
Оценка теплового состояния электрооборудования и токоведущих частей в зависимости от условий их работы и конструкции может осуществляться: по нормированным температурам

нагрева (превышениям температуры), избыточной температуре, коэффициенту дефектности, динамике изменения температуры во времени с изменением нагрузки путем сравнения измеренных значений температуры [2].

Основной задачей эксперимента было исследование режимов работы платы управления Euroline ZW23KE настенного газового котла с целью выявления элементов и областей с повышенным тепловыделением. Для этого был применен тепловизор Flir One с чувствительностью 0,1 °C в диапазоне температур от -20 до +120 °C.



Видимое изображение



Термограмма

Термограммы платы управления были получены с работающего в штатном режиме газового котла, используемого для отопления помещений в зимний период. Анализируя тепловые поля платы, установлено, что наибольшее тепловыделение происходит у низкоомных резисторов, установленных для контроля силы тока в цепи исполняющих устройств. Сравнивая полученные результаты с нормативными документами фирмы-производителя, было определено, что температуры указанных элементов находятся в пределах допустимых значений, а значит, функционирование платы управления можно считать удовлетворительным.

В ходе эксперимента подтверждена легкость обнаружения тепловыделяющих участков схемы, требующих дополнительного внимания, поиск которых традиционными средствами может быть достаточно трудоемким.

Список литературы:

1. Тепловой неразрушающий контроль изделий: Научно-методическое пособие / О.Н. Будадин, А.И. Потапов, В.И. Колганов – М.: 2002. – 472 с.
2. Неразрушающий контроль. В 7 т. Т. 5. Тепловой контроль. Под ред. Клюева В.В. / М: Машиностроение, 2004. – 697с

# ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДЯЩИХ ПАСТ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОГО МЕТОДА

*Харьковский национальный университет*

*радиоэлектроники*

*Ст.: А.С. Васильченко, Н.А. Емельянов*

*Рук. доц. Р.П. Орёл*

Тепловизионный метод контроля – это метод неразрушающего контроля, основанный на получении термограмм – изображений, показывающих картину распределения температурных полей на поверхностях контролируемых объектов, полученных с помощью тепловизора. Он применяется во многих отраслях промышленности, где по неоднородности теплового поля можно оценить техническое состояние производимой продукции [1]. Во всем мире применение тепловизоров является одним из эффективных компонентов системы технической диагностики.

Для контроля температуры на материнской плате компьютера чаще всего используются датчики, которые установлены на самой плате. Однако, используя метод термографии, можно получить гораздо больший массив данных, именно поэтому был выбран этот вид контроля температуры системы охлаждения процессора.

Во время проведения эксперимента были использованы 3 термопасты: «STAR-420», «Titan TTG-G30015» и «КПТ-8». Экспериментальный макет включал в себя материнскую плату ПК Intel D815 (радиатор охлаждения процессора без вентилятора) с подключенными к ней всеми необходимыми компонентами (рис.1) и тепловизор ИРТИС-200, позволяющий регистрировать абсолютные температуры и обладающий чувствительностью  $0,1^{\circ}\text{C}$  при  $60^{\circ}\text{C}$ . В ходе эксперимента температура радиатора, установленного на процессоре компьютера, возрастала до определенного значения при работе без запуска каких-либо программ, после чего запускалась специальная программа, «загружавшая» процессор задачами, заставляя его интенсивно нагреваться. В ходе эксперимента фиксировалась температура радиатора, которой он достигал за 3 минуты в указанном режиме, то есть анализировалась скорость нагрева, определяемая в данном случае используемой термопастой.

При обработке результатов было учтено, что алюминий, из которого изготовлен радиатор, обладает коэффициентом излучения значительно меньше единицы: при температурах, близких к комнатной, этот коэффициент составляет около 0,05 [2]. В результате фактическая

температура радиатора, нагреваемого процессором, получилась выше, чем регистрируемая на термограмме (рис.2).



Рисунок 1



Рисунок 2

В результате экспериментов были получены термограммы с различными видами термопаст, при рассмотрении которых видна очень незначительная зависимость между их уровнем теплопроводности. Разница в температуре нагрева радиатора по истечению указанного времени составляла не более  $1-2^{\circ}\text{C}$  на фоне отличия стоимости в несколько десятков гривен на грамм. Анализ полученных результатов показывает, что на эффективность передачи тепла от процессора до радиатора гораздо существеннее влияют чистота поверхности кристалла, наличие пыли и толщина пасты, а не её вид и цена. Было установлено, что наиболее эффективное охлаждение было достигнуто при использовании термопасты «STAR-420».

Результаты экспериментов показывают, что тепловизионный метод контроля температуры имеет ряд достоинств такие, как высокое быстродействие, производительность, возможность исследования динамических и статических тепловых процессов, а также дистанционность, которые сложно переоценить в ходе подобных исследований.

## Список литературы:

1. Маслова В.А, Стороженко В.А. Термография в диагностике и неразрушающем контроле. / Харьков: «Компания СМИТ», 2004.
2. Степень черноты поверхности материалов [Электронный ресурс] // <http://thermalinfo.ru/eto-interesno/stepen-chernoty-poverhnosti-materialov-metallov-dielektrikov>.

# ПОДАВЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОМЕХ ПРИ ТЕПЛОВОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕМ КОНТРОЛЕ ТРУБОПРОВОДОВ

*Харьковский национальный университет*

*радиоэлектроники*

*Ст.: М.С. Калантай, О.В. Кощей*

*Рук. асс. А.В. Мякий*

Одним из наиболее эффективных методов выявления дефектов в трубах высокого давления или газопроводах является тепловой метод. Так как за счет рабочего вещества обладающего определенной теплотой на поверхности трубы образуется характерное температурное поле, которое и позволяет выявить дефекты вызванные коррозией и кавитацией, а так же снижение их проходимости за счет появления посторонних образований внутри трубы [1]. Но на достоверность такого метода серьезно влияют тепловые поля образованные неоднородностями на поверхности трубопровода, но их компенсация требует выделения их границ.

Для выделения на термограмме интересующей нас области производится нормализация видимого изображения с помощью двух реперных точек выделенных на термограмме и на видимом изображении. Нормализация необходима для получения более точного контура интересующей нас области на термограмме. После этапа подготовки изображений выделяются реперные точки на видимом изображении внутри контура интересующего нас объекта. Этот этап производится и на термограмме. После этого происходит перенос контура с видимого изображения на термограмму.

С помощью полученного контура интересующего объекта пользователь может проанализировать данный объект на наличие этих зон используя его температурные показатели.

В исследованиях были использованы метод медианной фильтрации и метод SUSAN[2].

Данная фильтрация подавила текстуру и упростила последующую обработку. Результат при зрительном анализе не произвел значительных изменений, однако необходимость этапа фильтрации будет понятна далее. Следующим шагом при подготовке видимого изображения является выделение контуров. Существует ряд методов позволяющих выделить контур на видимом изображении: метод активных контуров, оператор Робертса, оператор Лапласа, разностный метод. В разрабо-

танном программном продукте представлен метод Робертса и разностный метод. Перед обработкой изображения данными методами необходимо произвести предварительную фильтрацию методом SUSAN. Результат использования оператора Робертса на образце трубы паропровода(рис.1).

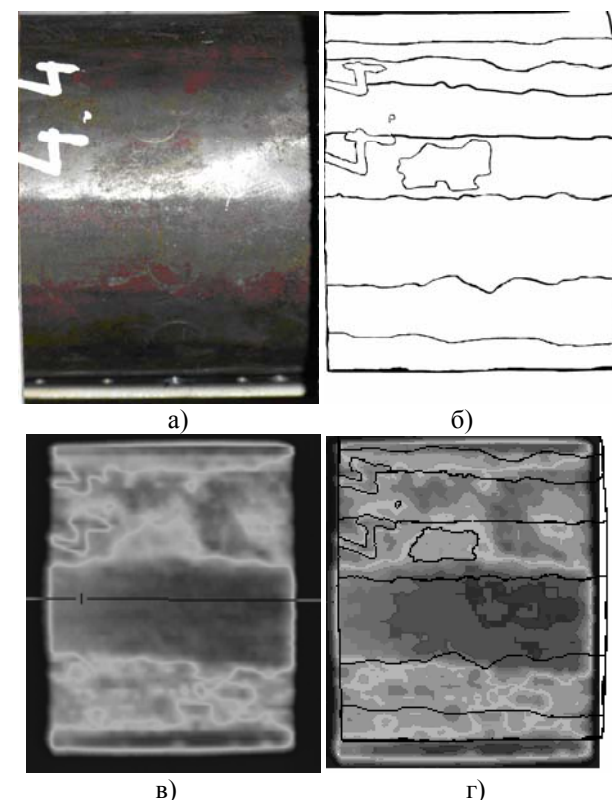


Рис.1-Фото объекта (а),Результат обработки изображения оператором Робертса после фильтрации (б), начальная термограмма (в), наложение (с).

Перед началом работы алгоритма необходимо проводить фильтрацию, дабы уменьшить дискретизацию зон сглаженную фильтрацией, причем независимо от того каким методом будет осуществляться выделение контура.

На данном этапе алгоритма реализована функция наложения. Она позволяет совмещать отфильтрованное изображение с термограммой объекта. Результат работы этой функции представлен на (рис.1г)).

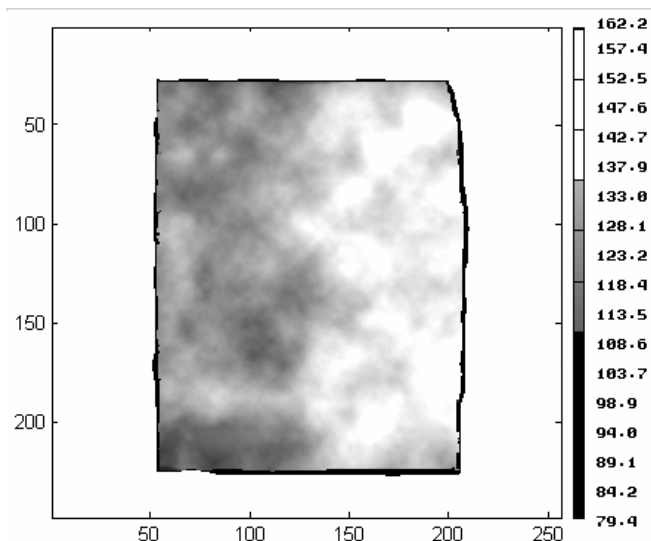


Рис.2- Наложение изображений термографического и отфильтрованного.

Описанный алгоритм позволяет производить обработку видимого изображения с дальнейшим сопоставления его с термограммой, что позволяет компенсировать помеху (рис.2).

#### Литература:

1. Стороженко В.А., Малик С.Б., Мягкий А.В. Оптимизация режимов тепловой дефектоскопии на основе теплофизического моделирования // Харків: НТУ «ХПІ» – №48. – 2008. – С. 84-91
2. Гарячевская Д.В., Шевченко М.А. Современные тепловизоры для теплового контроля качества. – Актуальні проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення: тези доповідей XI регіон. студ. наук. конфер. / Харків: НТУ «ХПІ», 2011. С.82-83.
3. Xavier P. V. Maldague. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. - John Wiley & Sons, Inc., 2001, p. 684.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ СОТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ ФИЛЬТРАЦИИ НЕОДНОРОДНОЙ РЕГУЛЯРНОЙ СТРУКТУРОЙ

*Харьковский национальный университет*

*радиоэлектроники*

*Ст.: А.И. Овчаренко, М.С. Оржинская, А.О. Пешкова*

*Рук. асс. А.В. Мягкий*

Сотовые конструкции являются одним из наиболее распространенных конструкционных материалов в авиации, космической технике и других отраслях где к надежности комплектующих предъявляются повышенные требования.

Известно, что для выявления дефектов перспективно применение активного метода теплового контроля [1,2], который сочетает в себе высокую чувствительность к обнаружению подобных дефектов с высокой чувствительностью контроля

Однако реализовать потенциальные возможности этого метода на практике не удастся в следствии значительных помех, обусловленных неоднородностью излучательной способности поверхности сотовой структуры и помехи за счет проявления регулярной структуры образца.

Целью настоящих исследований являлся поиск путей подавления указанных помех за счет создания алгоритмов обработки термограмм полученных в результате проведения теплового неразрушающего контроля.

Для достижения цели использовался теоретико-экспериментальный подход, сочетающий в себе построение и анализ теплофизической модели сотовой структуры и проведения эксперимента на реальных образцах с дефектами.

Одной из наиболее влияющих на изображение помехой, является помеха вызванной внутренней регулярной структурой образца контроля так как не зависит от состояния (дефектности) образца и присутствует во всех изделиях вложенной внутренней структуры (рис. 1).

Существует два наиболее простых и эффективных метода устранения этой помехи. Первый метод подразумевает точное знание регулярных неоднородностей объекта контроля и создание маски (изображение повторяющее неоднородности образца). С последующим его «вычитанием» из основного изображения.



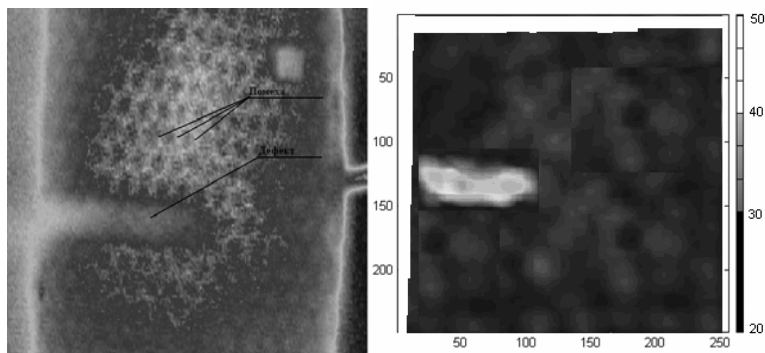


Рис.2 Сотовая структура с дефектом и помехой (слева). Конечный вид термограммы после обработки(справа).

Недостатком такого метода является то, что в случае ошибки наложения изображений приводит не к уменьшению, а к увеличению помехи.

В данной работе использовался второй метод значительно менее универсальный, но в данном случае более эффективный. Речи идет о усреднении температурного поля по зонам линейные размеры которых равны толщине стенки сотовой конструкции. Использование подобного метода снижает уровень помехи более чем в 3 раза

Это создает все предпосылки для того, чтобы в условиях производства от визуального метода идентификации дефектов перейти к автоматизированному, основанному на соответствующих технических средствах.

#### Литература.

1. Стороженко В.А., Малик С.Б., Мякий А.В. Оптимизация режимов тепловой дефектоскопии на основе теплофизического моделирования // Харків: НТУ «ХПІ» – №48. – 2008. – С. 84-91
2. Горячевская Д.В., Шевченко М.А. Современные тепловизоры для теплового контроля качества. – Актуальні проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення: тези доповідей XI регіон. студ. наук. конфер. / Харків: НТУ «ХПІ», 2011. С.82-83.
3. Xavier P. V. Maldague. Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing. - John Wiley & Sons, Inc., 2001, p. 684.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЫПУСКАЕМОЙ ПРОДУКЦИИ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. С.А. Мироненко*

*Рук. доц. А.Л. Мироненко*

Современное производство характеризуется высокой долей исследовательских работ на подготовительной стадии. Эта доля составляет до 70% от общего производственного жизненного цикла. Такой подход требует создания компьютерных моделей с высокой степенью достоверности. Таким образом, при исследовании недостаточно иметь только геометрические параметры, требуются еще физико-механические и кинематические характеристики. Для реализации этих требований необходим обширный массив фундаментальной информации из таких разделов физики, как кинематика, основы динамики, силы в природе, законы сохранения в механике, термодинамика и другие. Следовательно необходимо создание геометрических и физических моделей. Такие модели представляют собой взаимосвязанный набор коэффициентов, постоянных, математических описаний и методов решения.

Опираясь на такие решения стало возможным моделировать поведение сложных изделий в реальных условиях, с учетом воздействия внешних сил, гравитации и температур. При таком подходе возрастают затраты и время на подготовительном этапе производства, но это окупается за счет значительного повышения управляемости качеством продукции и снижением себестоимости изделий.

Такие подходы получили широкое распространение не только в технической сфере, но и в медицинской и ювелирной отраслях. В частности в моделировании элементов опорно-двигательной системы человека стало возможным изготавливать коленные суставы, элементы позвоночника, ортопедические приспособления по индивидуальным требованиям. В данном направлении студенты нашего университета три раза завоевывали первое место в международных конкурсах проводимых компанией Delcam с последующей стажировкой в зарубежных университетах. Но несмотря на значительные успехи имеются недостаточно изученные направления. Погрешности физических моделей достигают 10%, а в некоторых случаях и 20%. Следовательно данное направление можно отнести к актуальному научному направлению.



## ПЕРСПЕКТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

*Технічний коледж Тернопільського національного  
технічного університету ім. Івана Пулюя*

*Ст. Д.В. Мидлик*

*Кер. викл. Л.М. Недошитко*

Останні роки характеризуються пошуком новітніх більш ефективних та мікромініатюрних джерел енергії для електронних пристроїв.

Група дослідників і студентів із Техаського університету A & M (Texas A & M University), очолювана доктором Чунг Ю (Dr. Choongho Yu), розробила новий тип суперконденсатора, який крім традиційного способу електричної зарядки, може заряджатися, використовуючи тепло тіла людини або тепло з іншого джерела.

У подальшій перспективі такий суперконденсатор (Thermally Chargeable Solid-state Supercapacitor) може стати практично вічним джерелом енергії для малоспоживаючих електронних пристроїв і для пристроїв з розряду Інтернет Речей, які зможуть черпати необхідну їм енергію прямо з навколишнього середовища. В основі принципів роботи суперконденсатора лежить явище термодифузії – явище переносу речовини в тілі з нерівномірним розподілом температури, зокрема дифузія складових частин розчину або газової суміші, зумовлена різницею температур – в твердотільних полімерних електролітах.

За рахунок цього явища під впливом температурного градієнта іони переміщуються від більш гарячої сторони в сторону більш холодної. При цьому виникає електрохімічний потенціал і забезпечує заряд суперконденсатора, який можна використовувати у вигляді електричної енергії. Подібний підхід дозволяє реалізувати постачання електричної енергії абсолютно новим способом, без необхідності використання зовнішнього джерела живлення або періодичної заміни батарей.

У доповіді наводяться приклади побудови та технічної реалізації суперконденсатора, розглядаються особливості використання подібної конструкції в якості джерела живлення для електронних пристроїв та систем із низьким споживанням енергії, проводиться аналіз перспектив та ефективності впровадження такого джерела енергії в промисловість.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. <https://engineering.tamu.edu/news/2016/11/10/firstsupercapacitor-that-can-be-charged-by-human-body-heat-developed-at-texas-am-niversity>.

## ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТОНКИХ ПЛІВОК CdS, ОТРИМАНИХ МАГНЕТРОННИМ РОЗПИЛЕННЯМ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст. О.В. Суддя*

*Кер.: н.с. М.М. Харченко, асп. А.І. Доброжан,  
доц. Г.І. Конач*

Сульфід кадмію (CdS) субмікронної товщини широко використовується в геліотехніці в якості матеріалу для широкозонних вікон тонкоплівкових сонячних елементів на основі полікристалічних гетеропереходів CdS/CdTe. Традиційно такі напівпровідникові плівки виготовляють різноманітними вакуумними методами, але найбільш економічним з них є метод магнетронного розпилення на постійному струмі. В роботі досліджено оптичні властивості плівок сульфід кадмію отриманих при різних фізико-технологічних режимах конденсації методом магнетронного розпилення на постійному струмі.

Досліджені тонкі плівки CdS різної товщини, вирощені на скляних підкладках в слідуючих режимах конденсації: тиск робочого газу аргону у робочому об'ємі – 0,8 Па; напруга на магнетроні – 300-350 В; густина струму плазмового розряду – 5,7-6 мА/см<sup>2</sup>, температура підкладки – 270-280<sup>0</sup>С, час напилення – 5-15 хв.

Аналіз спектрів пропускання зразків свідчить, що в діапазоні довжин хвиль 500-1100 нм усі плівки CdS мають прозорість на рівні 80%. Графічний аналіз спектральної залежності коефіцієнту пропускання  $T=f(\lambda)$  у координатах  $\alpha^2=f(h\nu)$ , де  $\alpha$  - коефіцієнт оптичного поглинання,  $h\nu$  - енергія квантів падаючого світла, свідчить щодо наявності прямих дозволених оптичних переходів. Ширина забороненої зони CdS в плівках складає 2,44-2,46 еВ. Плівки мають високий ступінь рівномірності розподілу шару напівпровідника та адгезії до поверхні скляної підкладки. Значення товщини плівок розраховано за інтерференційними точками екстремуму залежності коефіцієнту пропускання від довжин хвиль та становить 150-360 нм. Результати експерименту дозволяють стверджувати, що швидкість конденсації шарів сульфід кадмію магнетронним розпиленням на постійному струмі при густині струму плазмового розряду 5,7-6 мА/см<sup>2</sup> становить 25 нм/хв.

## ТЕПЛОВІЗІЙНИЙ КОНТРОЛЬ ОБЛАДНАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

*Національний технічний університет «ХПІ»*

*Ст. А.Е. Потривай*

*Кер.: доц. Л.Г. Петренко*

Останніми роками в електроенергетиці намітилася тенденція до послідовного переходу від планово-запобіжних ремонтів до ремонтів по дійсному технічному стану обладнання. Суттєво змінився підхід до методів діагностики електрообладнання і оцінки його стану. Поряд з традиційними методами діагностики, знайшли застосування сучасні високоефективні способи контролю, що забезпечують виявлення дефектів електрообладнання на ранній стадії їх розвитку [1]. Істотно розширилася область контролю маслonaповненого обладнання під робочою напругою, розроблені методи і нормативи бракування при оцінці стану обладнання по складу газів, розчинених в маслі. Здійснюється поглиблений аналіз трансформаторного масла, що дозволяє судити про стан паперової ізоляції обмоток силових трансформаторів. Набуло широкого поширення термографічне обстеження електроустановок, тепловізійний контроль електрообладнання [2].

Для отримання картини розподілу температури по всьому об'єкту використовується тепловізор – пристрій, що дозволяє візуалізувати картину теплового випромінювання об'єкту, що досліджується.

Принцип дії сучасних тепловізорів заснований на здатності деяких матеріалів фіксувати випромінювання в інфрачервоному діапазоні [3]. За допомогою оптичного приладу, в склад якого входять лінзи, що виготовлені з використанням рідкісних матеріалів, прозорих для інфрачервоного випромінювання (таких як германій), теплове випромінювання об'єкта проєктується на матрицю датчиків, чутливих до інфрачервоного випромінювання. Далі складні мікросхеми зчитують інформацію з цих датчиків, і генерують відеосигнал, де різній температурі об'єкту, що досліджується, відповідає різний колір зображення. Шкала відповідності кольору і температури може бути виведена поверх кадру. Сучасні технології дозволяють розрізняти температуру об'єктів з точністю до 0,05-0,1 К.

Після запису в пам'яті тепловізора інформації про температури об'єкту відбувається створення зображення, в якому кожний крапці з певною температурою привласнюється свій колір: чим вище температура, тим яскравіше колір.

Для отримання картини розподілу температури по всьому об'єкту використовується тепловізор, в якому чутливий елемент швидко і автоматично переміщається по вертикалі і горизонталі. В оперативній пам'яті тепловізора створюється таблиця з рядків і стовпців, в кожному секторі якої знаходиться інформація про температуру однієї точки об'єкту. В реальних тепловізорах кількість секторів може бути дуже великою. Наприклад, в тепловізорі ThermoCAM/E2 формується таблиця розміром 160x120 секторів.

Наявність зв'язку тепловізора з персональним комп'ютером дозволяє зберігати отриману інформацію у форматі JPEG.

Оцінка теплового стану електрообладнання і його токоведучих частин залежно від умов їх роботи і конструкції може здійснюватися:

- по допустимих температурах нагріву;
- перевищенням температури над температурою зовнішнього повітря;
- надмірної температури (перевищення виміряної температури контрольованого вузла над температурою аналогічних вузлів інших фаз, що перебувають в однакових умовах;
- коефіцієнту дефективності;
- динаміці зміни температури в часі;
- шляхом порівняння вимірних значень температури об'єкту з іншим, свідомо справним обладнанням.

Слід зазначити переваги тепловізійного контролю перед традиційними методами оцінки стану устаткування:

- тепловізійний контроль проводиться в робочому стані обладнання, тобто під навантаженням і напругою, тому він не заважає підприємству виконувати своє основне завдання передачі і розподілу електроенергії;
- оскільки пошкодження виявляються на працюючому обладнанні, то є запас часу для підготовки виведення дефективного обладнання в ремонт, не відключаючи електроустановку і скорочуючи час ремонту;
- тепловізійне обстеження дозволяє знизити витрати на ремонт, оскільки дефекти виявляються на ранніх стадіях.

Використання тепловізійного контролю електрообладнання разом з традиційними методами обстеження приводить до зменшення часу ремонту та його здешевленню.

Література:

[1] Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения: Уч. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2004.

[2] Бажанов С.А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2000.

[3] *teplovizor.su/princip-deystviya-teplovizora.*

## **ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕТЯГОВИХ СПОЖИВАЧІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ МЕТРОПОЛІТЕНІВ**

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст. С.Г. Пономаренко*

До електропостачання поїздів, машин і механізмів метрополітенів, особливо відносно його надійності й безперебійності, пред'являються високі вимоги. Вони обумовлюються не тільки специфічними умовами роботи метрополітенів як електричних підземних залізниць, але й взаємозв'язком дії всіх пристроїв, призначених для організації руху поїздів й обслуговування пасажирів. Комплекс тягового електропостачання доповнюється пристроями електроживлення нетягових споживачів різного призначення.

Основними споживачами електроенергії на метрополітенах є електропоїзда; ескалатори для спуска й підйому пасажирів на станціях; освітлювальні пристрої на станціях, у тунелях і на наземних коліях; вентиляційні установки й пристрої для кондиціонування повітря; насосні установки для видалення (відкачки) технологічних і ґрунтових вод з тунелів і станцій; пристрою сигналізації, централізації й блокування для організації руху поїздів; прилади для електропідігрівання повітря й води в службових приміщеннях; електрифіковані ремонтні й збиральні машини; електротехнічні пристрої різного призначення в депо, на ремонтних заводах й у галузевих майстернях; пристрої власних потреб на підстанціях.

Електропривод ескалаторів являє собою електромеханічний комплекс, що через, передавальний механізм забезпечує дію робочої частини машини, що безпосередньо здійснює перевезення пасажирів.

Потужність головного електродвигуна й система привода визначаються висотою ескалатора й залежать від швидкості руху полотна й динамічних пуско - гальмових характеристик. Груповий електропривод для ескалаторів не застосовується. Живлення ескалаторів від знижувальних підстанцій здійснюється при номінальній напрузі в мережі 380 В. На цю напругу розраховані електродвигуни й комутаційно-захисні апарати в схемі. Для станцій глибокого закладання в якості головних застосовуються асинхронні електродвигуни з фазним ротором потужністю від 70 до 200 кВт. Для станцій мілкового закладання й переходів з висотою підйому до 20м використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором потужністю від 14 до 55 кВт.

Споживання електроенергії ескалаторами становить 3,5- 4% загальної її витрати на метрополітені.

Вентиляційні установки використовують для підтримки встановлених параметрів повітряного середовища на станціях, у тунелях й у підземних виробничих приміщеннях метрополітену. З декількох способів вентиляції тунелів і станцій найбільш характерної для метрополітену є система зі штучним поздовжнім розподілом повітря. На перегонах і станціях виконані шахти з вентиляційними установками, які подають свіже і витягають відпрацьоване повітря. Застосовують осьові двоступінчасті вентилятори зі спрямляючими й напрямними апаратами.

Для електропривода використовують асинхронні короткозамкнені двигуни. Залежно від профілю траси, довжини вентиляованої зони й необхідних аеродинамічних характеристик установки потужність електродвигунів становить 28, 40, 55 й 75 кВт. Як правило, для того щоб збільшити статичний напір, виготовляють здвоєні вентилятори. Пусковий режим електродвигунів розрахований так, що при включенні найбільш потужної установки сумарне спадання напруги не перевищувало 15%. Звичайно вентилятори виконують реверсивними: у холодну пору року подача повітря відбувається на перегін, а витяжка його - через станцію. У теплу пору року свіже повітря надходить на станцію й витягається назовні через шахту на перегоні. Подача вентиляторів останніх моделей у режимі реверсування досягає 80% прямого ходу.

Насосні установки, які використовуються для перекачування в міські водостічні магістралі технологічної й ґрунтової води, що збирається в тунелях і на станціях, автоматизовані. Вони включаються в роботу при заповненні прийомних резервуарів (зумпфів). У зазначені резервуари вода надходить самотливом по лотках або трубам.

Звичайно на водовідливних станціях основних перекачувань встановлено два або три робочих насоси, обладнаних електроприводом. Потужність асинхронних короткозамкнених електродвигунів залежить від гідродинамічних умов перекачування води. Для насосів, установлюваних у тунелях глибокого закладання, вона становить 55-75кВт, а в тунелях мілкового закладання - 10- 13кВт. Насоси місцевих і транзитних перекачувань, що передають воду в основні, мають електродвигуни потужністю 4-7,5кВт. Режим роботи електропривода насосів повторно-короткочасний і має більші розходження залежно від дебіту ґрунтової води на тих або інших перегонах, від обсягу й часу промивання тунелів й інших робіт, пов'язаних з її надходженням у дренажні комунікації.

Порівняно невеликим і нерегулярним споживачем електроенергії є установки фекальної каналізації санітарних вузлів, потужність електропристроїв яких становить 13-22кВт. До подібним споживачів відносяться дрібні санітарно-технічні пристрої на станціях й у виробничих приміщеннях: душові, сушильні шафи, апарати медичних пунктів, невеликі нагрівальні й вентиляційні прилади. Частка санітарно-технічних пристроїв у загальному споживанні електроенергії на метрополітені становить 9-10%.

Освітлювальні пристрої на станціях, у тунелях і на наземних колах повинні відповідати вимогам високої надійності технічних засобів по обслуговуванню пасажирів і забезпеченню встановленого виробничого циклу метрополітенів. Ці вимоги враховують підземне розміщення переважної більшості станцій, тунелів, переходів, а також виконання наземних прийомо-розподільних приміщень для пасажирів з використанням штучного освітлення.

На більшості станцій як основне джерело електричного освітлення служать люмінесцентні лампи.

Освітлення тунелю підрозділяється на робоче й додаткове. Робоче освітлення тунелю при повнім зникненні змінного струму автоматично перемикається на живлення від акумуляторної батареї. На окремих лініях рух поїздів відбувається при погашеному освітленні в тунелі

До мережі освітлення підключають невеликі збиральні машини й механізми, однак у зв'язку з низьким коефіцієнтом одночасності їхній вплив на загальне енергоспоживання в освітлювальній мережі незначний. У холодну пору року навантаження мережі освітлення збільшується на 15-20% через роботу електроопалювальних приладів і теплових завіс у вхідних дверей вестибюлів. У тунельних умовах напруга для освітлення обрана на лампі 127В, як за техніко-економічними критеріями, так і з урахуванням підвищеної небезпеки для персоналу. На відкритих ділянках ліній, де немає умов підвищеної небезпеки, напруга на світильниках прийнята рівною 220В.

Частка освітлювального навантаження в загальному енергобалансі метрополітену становить 8-9%. Її порівняно стабільний характер не викликає утруднень у визначенні потужності трансформаторів і пропускної здатності мережних пристроїв.

Пристрої сигналізації, централізації й блокування являють собою основну ланку системи керування рухом поїздів і забезпечення його безпеки. На метрополітенах України найпоширенішою є автоматичне релейне блокування з механічними автостопами. Споживання

енергії пристроями СЦБ незначно й становить від загальної її витрати 0,4-0,5%.

У рейкових колах підключених до мережі змінного струму є колійні трансформатори, колійні реле, дроселі, обмежники струму. Сумарна потужність цих пристроїв кожної блок-ділянки стосовно до ізолизованого рейкового кола при його довжині 200-1200 м становить 100-300 Вт.

Живлення пристроїв СЦБ здійснюється від двох джерел енергії, зв'язаних системою АВР.

Ремонтні й збиральні машини використовують для робіт на станціях і перегонах.

Більшість пересувних установок має електропривод або пристрої для виконання електричного зварювання. Їх підключають до розподільних пунктів магістралей механізації робіт, розташованих на станціях, на перегонах й у приміщеннях, де зосереджені силові установки. Живлення ліній механізації здійснюється напругою 380В. Кожен розподільний пункт розрахований на підключення пересувної установки потужністю 40 кВт. Передбачено можливість живлення ручного електроінструмента різного призначення потужністю до 5 кВт на напругу 220В, підключеного через розподільний пункт до лінії додаткового освітлення тунелю.

Потужні збиральні машини, наприклад вагони-пилососи для механічного очищення верхньої будови колії й елементів тунелів, мають автономні джерела живлення й іноді приєднуються до тягової мережі. Вони виходять на трасу, коли закінчується рух пасажирських поїздів. Невеликі, але численні збиральні машини: підмітальні, підлого мийні, пилососні - постачені електродвигунами невеликої потужності й підключаються до ліній механізації на станціях, приєднаних до освітлювальної мережі напругою 220 В. Ці машини включаються в роботу в різний час доби.

Пристрої для автоматизації оплати проїзду й контролю пропуску пасажирів (розмінні автомати, автоматичні контрольні пункти й ін.) є малопотужними споживачами електроенергії, і кожне з них має потужність не більш трох десятків ват.

Енергоспоживання зазначеної групи підприємств метрополітену становить 3-4% загальної витрати електроенергії.

## ВЕТРОЭНЕРГЕТИКА УКРАИНЫ: РАЗВИТИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. Е.С. Гулина*

*Рук.: доц. А.Я. Дульфан, доц. Н.Б. Фатьянова*

Ветрогенератор (ветроэлектрическая установка или сокращенно ВЭУ) — устройство для преобразования кинетической энергии ветра в ветрового потока в механическую энергию вращения ротора с последующим её преобразованием в электрическую энергию.

Ветрогенераторы можно разделить на три категории: промышленные, коммерческие и бытовые (для частного использования).

ВЭУ состоит из:

1. ветротурбины, установленной на мачте с растяжками и раскрываемой ротором либо лопастями;

2. электрогенератора;

полученная электроэнергия поступает в:

3. Контроллер заряда аккумуляторов, подключенный к

4. аккумуляторам (обычно необслуживаемые на 24 В)

5. Инвертор (= 24 В → ~ 220 В 50Гц), подключенный к электросети

Общий ветроэнергетический потенциал Земли огромен: по ряду авторитетных экспертных оценок он составляет около 1200 ТВт. Однако реальное использование этого потенциала наталкивается на ряд трудностей, обусловленных как неравномерностью его распределения в различных районах Земли, так и большими потерями при его преобразовании в другие виды энергии. Согласно ряду экспертных прогнозов, потребности человечества в энергии, составляющие в настоящее время около 13 ТВт, возрастут к середине нынешнего века до 30, а к его концу – до 46 ТВт. Такие потребности в энергии могут быть удовлетворены только за счет преимущественного развития ВИЭ и, прежде всего, за счет намного более масштабного производства солнечной и ветровой энергии, которое особенно ускорилось за последние годы.

Согласно скорректированной «Энергетической стратегии Украины на период до 2030 г.» в нашей стране в 2030 г. должно вырабатываться не менее 30% от всей электроэнергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ), таких как солнце, ветер, воды рек и др. Украина обладает значительными ресурсами ветровой энергии и бла-

годаря своим природно-климатическим характеристикам может выйти на одно из ведущих мест в мире по использованию энергии ветра. Основное влияние на климат и, как следствие, на ветровой режим территории Украины оказывают Атлантический и Северный ледовитый океаны. Существенно влияют на формирование климата отдельных регионов страны также высота и направление расположения карпатских и крымских гор, близость других регионов к Черному и Азовскому морям и целый ряд других факторов. С учетом возможных объемов инвестиций суммарную мощность ВЭС, которые могут быть построены в течение ближайших 10 лет в перспективных регионах Украины, по данным Института возобновляемой энергетики НАН Украины, можно оценить в 16 ТВт с возможным годовым объемом производства энергии около 32 млрд. кВт·ч /год. По результатам опроса, проведенного экспертами Украинской ветроэнергетической ассоциации, четыре ветротурбины FL 2500-100 единичной мощностью 2,5 МВт были введены в эксплуатацию на площадке Очаковского ветропарка в Николаевской области, и две турбины Vestas V-112 единичной мощностью 3,3 МВт - на ВЭС «Старый Самбир-1» в Львовской области. Таким образом, по состоянию на 31 декабря 2015 года суммарная мощность ВЭС материковой части Украины составила 426,2 МВт. Все ВЭС подключены к энергосети. К 2020 году Украина намерена увеличить этот показатель до 2,28 ГВт. Благодаря принятому в 2008 году закону о "зеленом тарифе" и, в частности, требованию местной составляющей в размере не менее 30%, страна стала обладательницей собственного производства ветротурбин в Краматорске. Стоит отметить, что национальный план развития объединенной энергосистемы (ОЭС) Украины на 2016-2025 гг. предусматривает инвестиции в энергетику порядка 279,8 млрд грн. за этот период. Об этом сообщается в презентации проекта плана развития ОЭС, составленным в НЭК "Укрэнерго". В соответствии с представленным планом 158,5 млрд грн. (56,6%) будет направлено на развитие возобновляемых источников энергии, 39,8 млрд грн. (14,2%) – на атомные электростанции, 33,9 млрд грн. (12,1%) – на тепловую энергетику, 27,5 млрд грн. (9,8%) – на развитие магистральных электрических сетей. Сейчас в стране работает 16 ВЭС, включая те, которые были построены в рамках выполнения Государственной Комплексной программы по строительству ВЭС (1997–2010 гг.). В ближайшем будущем Украина может стать обладательницей крупнейшего в Европе берегового ветропарка с общей мощностью порядка 500 МВт. Об этом стало известно из сообщения, сделанного 17 ноября 2015 пресс-службой Госэнергоэффективности. В частности, сообщается, что в ходе состоявшейся встречи председателя агентства

по энергоэффективности и энергосбережению Украины с генеральным директором «Euro Care New Energy Limited» Питером Джастином О'Брайен, был представлен масштабный проект строительства мощной ветроэлектростанции. Как заявил О'Брайен компания планирует строительство самой большой среди европейских стран наземной ветровой электростанции мощностью 500 МВт с применением отдельных ветровых турбин мощностью 3,3 МВт. Энергетический объект будет размещен в Приазовском и Мелитопольском районах Запорожской области. В будущий проект заложена прокладка воздушной линии электропередачи 330 кВ, которая должна будет соединить электростанцию и подстанцию «Мелитопольская» Днепропетровской ЭС, а также модернизация самой подстанции. Помимо строительства энергетической инфраструктуры, в планы компании входит также строительство дорог и объектов социальной сферы. В ходе встречи стороны подтвердили свои намерения о дальнейшем сотрудничестве. В частности, в перспективе намечено подписание соответствующего Меморандума и работа над совершенствованием законодательства в сфере стимулирования отрасли возобновляемых источников энергии.

Первая очередь новой ВЭС мощностью 99 МВт должна быть сдана в работу уже в конце 2016 года. На данном этапе график строительства станции полностью соблюдается. Прогнозируемая стоимость запорожского ветропарка составит около 750 млн евро, дополнительные 250 млн евро понадобятся на реконструкцию сопутствующих объектов. На сегодняшний день самой большой в Украине является Ботиевская ВЭС. Ее установленная мощность составляет 200 МВт. Среднегодовая выработка ветропарка ожидается на уровне 686 млн кВт\*ч электроэнергии в год. 25 мая 2016 года в Очаковском районе началось строительство «Ветряного парка Причерноморский».

Как рассказал генеральный директор ООО «Управляющая Компания «Ветряные парки Украины» Владислав Еременко генерация ветряного парка «Очаковского» в 2015 году составила почти 130 млн кВт\*ч, а это 50 тысяч домовладений. Чтобы использовать неоспоримые преимущества ВЭС, необходимо активно развивать новейшие технологии производства оборудования для таких электростанций. В настоящее время на Украине ветроэнергетическое оборудование изготавливают только несколько производителей, среди них завод «Южмаш» (точнее, «УиндЭнерго, Лтд»), Новокраматорский машиностроительный завод (НКМЗ), компания Windelectric и др. Все они в разной степени используют зарубежные комплектующие для сборки своего оборудования. Лидирующими компаниями в ветроэнергетической промышленности Украины остаются ООО «Винд Пауэр», ООО «УК «Вет-

ряные парки Украины» и ООО «Виндкрафт Украина». В европейских странах солнечные панели на крышах и вездесущие ветряки - это вполне обыденное явление. Однако в Украину этот «порядок вещей» только начинает приходить. И даже в некоторых отраслях украинцы, в частности, харьковчане могут утерять нос другим европейцам. Так, уже почти 20 лет в нашей области создают машины, которые помогают обуздать природу для потребностей человека, и вместе с тем быть энергетически независимыми. Этим занимается небольшое предприятие "Мир ветра", которое располагается неподалеку от Харькова - в селе Октябрьское. Там, в бывшем коровнике, разместилось серьезное научно-техническое общество. Группа энтузиастов, так можно назвать этот коллектив из 18 человек. Ведь на государственном уровне этой отраслью фактически не занимаются, а люди, в нашем случае - авиационные инженеры, самостоятельно реанимируют дело, которое позволяет человечеству быть независимым от нефти и газа, беречь окружающую среду, и наконец - экономить на потреблении электроэнергии. Директор предприятия Александр Люшня говорит, что харьковские ветрогенераторы более качественные чем те, что производят в ЕС, и стоят меньше. - Мы производим ветроэлектрические установки (ВЭУ) и сопутствующее оборудование - в полном комплекте, - рассказывает директор «Мира ветра» Александр Люшня. - На маленьком предприятии сосредоточены все этапы производства: от лопастей до генераторов, электроники и самой конструкции. Устанавливаем все «под ключ», и далее предоставляем обслуживание.

Сегодня предприятие готовит пятерку ветрогенераторов различной мощности - от 1 до 6 кВт. Наименьшие в месяц могут производить 20-40 кВт ч, крупные - 1200-2400 кВт ч. Ветрогенераторы используют для энергообеспечения частных домов, коттеджей, подогрева и освещения теплиц, перекачки воды и тому подобное. Кроме ветряков предприятие выполняет другие заказы, например, изготовление нестандартного оборудования, проектирование. Цена на ветряки стартует от 400 долларов США и может достигать двух десятков тысяч. Поэтому заказчиками фирмы являются в основном две категории состоятельных людей: те, кто имеет определенную недвижимость в местах, где отсутствует электроэнергия. Например, дом на хуторе, где уже аварийные электросети и протянуть от них себе провода - опасно. Или дачи у прудов или в других труднодоступных местах. И вторая категория - люди, которым просто хочется иметь ветряк, и они могут себе позволить его купить. Они боятся на случай аварий, отключения электроэнергии. Так, в соседнем с Октябрьским селе Тишки человек поставил себе ветряк. Этой зимой из-за погоды там порвало линии

электропередачи. Село было обесточено длительное время, и только его дом жил, так что и соседи приходили «подзарядиться». За 16 лет работы специалистам предприятия удалось выпустить около 600 ветрогенераторов. Большинство из них работает в Украине, треть прижилась за рубежом. Интересно, что в соседней России работает небольшая часть - всего 30-40 машин, большинство же - в Европе. По словам директора, хоть одна или две их машины представлены во всех странах Европейского Союза.

- Нашей продукции нет разве что в Австралии и Латинской Америке. А так даже в Атлантическом океане работает, на Азорских островах, - рассказывает о географии путешествий своих ветряков Александр Люшня. Предприятие долгое время не экспортировало официально свою продукцию. В основном частные лица-иностранцы сами приезжали сюда за такой покупкой. В этом же году предприятие впервые официально отправило на экспорт четырехкиловаттный ветряк, который уехал в Германию.

Такой выход на рынок ЕС стал возможен благодаря определенным обстоятельствам. Сегодня в Евросоюзе сложилась ситуация, при которой фирмам ветряной энергетики выгоднее заниматься большими масштабами, а сектор малой ветряной энергетики остался почти незаполненный. Тамашние маленькие фирмы, которые еще лет 10 назад занимались этим бизнесом, не выдержали конкуренции с более дешевыми китайскими ветряками и закрылись. Но китайская продукция оказалась низкого качества и долго не прослужила, приобретя недобрую славу. И сейчас в ЕС фактически отсутствуют предприятия, которые делают машины для малой ветроэнергетики. Украина же, а именно Харьковщина получила шанс заполнить эту нишу. Проблемы эффективности использования традиционных источников энергии в Украине стоят еще острее, чем в мире или странах ЭС. Причинами этого являются устаревшие технологии, значительные потери при транспортировке, распределении и потреблении электроэнергии и тепла, а также монополия зависимость от импорта энергоносителей еще больше усложняют ситуацию на энергетических рынках страны. Сырьевая экономика – это прошлое, будущее Украины за такими технологиями, как ветровая энергетика. Ведь ветроэнергетика-это независимость, которая так нужна Украине.

## НЕВИДИМКА – МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

**Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»**

**Ст.: М.А. Ракитянская, Л.Р. Свердел**

**Рук.: ст.пр. Ю.И. Веретенникова,**

**асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин**

На протяжении многих веков люди говорили о невидимости как о мифических способностях, но сейчас, вовремя стремительно развивающегося технического прогресса этот миф может стать реальностью.

Примером современных технологий, которые смогут обеспечить невидимость являются метаматериалы. Они впервые были созданы в конце 90х годов прошлого столетия и активно исследуются как среды, в которых на определенных частотах можно наблюдать отрицательное преломление - пространство, в котором распространяется свет, может быть изогнуто почти произвольным заранее заданным образом, что открывает широкие возможности для управления световыми потоками.

Объяснение сути явления отрицательного преломления света впервые было озвучено Л. И. Мандельштамом на одной из его лекций в 1944 году, где он объяснил появление отрицательного преломления, происходящего на плоской границе раздела двух сред, в одной из которых могут распространяться волны с отрицательной групповой скоростью.

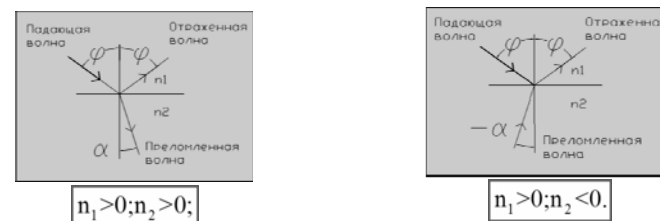


Рис. 1 Схематическое изображение преломления света в обычном случае ( $n_1 \sin \varphi_1 = n_2 \sin \varphi_2$ ) и в материале с отрицательным преломлением ( $n_1 \sin \varphi_1 = -n_2 \sin \varphi_2$ ).

Идеи Мандельштама вскоре были развиты российским физиком В. Г. Веселаго. В 1967 году он описал ожидаемые свойства материалов с отрицательным показателем преломления. Далее идея созда-

ния метаматериалов была подхвачена Джоном Пендри который в 2004 году описал условия, при которых появляется возможность создания плаща-невидимки и суперлинзы.

В 2010 году вышла статья об успешном создании плаща-невидимки, в которой одним из соавторов является Джон Пендри. Такой плащ сделан из композита серебра и непроводящего фторида магния. Усовершенствования технологии и подбор других материалов привел к появлению так называемой Quantum Stealth-ткани, которая создана канадской компанией Hyperstealth Biotechnology для военной разведки.

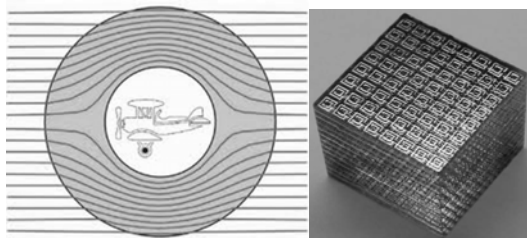


Рис. 2 Принцип работы и внешний вид материалов с отрицательным коэффициентом преломления.

Свойства метаматериалов позволяют световой волне огибать объект как показано на рис. 2. Кроме этого они используются для маскировки от радиоволн, создания суперлинз и множества других задач с которыми не смогут справиться материалы с обычными свойствами. Это происходит в большей степени благодаря их искусственной композиционной структуре, а не свойствам составляющих частей.

В наши дни разработка и исследование материалов с отрицательным коэффициентом преломления привлекает все больший интерес ведущих компаний мира. Можно смело сказать, что невидимость это не миф, кроме этого, благодаря метаматериалам возможно будет одновременно скрыть объект не только от человеческих глаз, но и от радиоволн, механических воздействий и других средств обнаружения

#### Литература:

1. К.А. Минакова, А.А. Мамалуй, Е.С. Сыркин / Изучение сред с отрицательным коэффициентом преломления в курсе общей физики // Физическое образование в вузах, Т. 19 (1), - 2013 - С. 8-18.
2. Веселаго В.Г. / Перенос энергии, импульса и массы при распространении электромагнитной волны в среде с отрицательным преломлением. // Успехи физических наук, - 2009, - Т. 179, - № 6 - С. 690-694.
3. Агранович В.М., Гарштейн Ю.Н. / Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света. // Успехи физических наук, 2006, - Т. 176, - № 3, - С. 1051-1068.

## ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: В.М. Савенко, А.Д. Погорелов*

*Рук.: доц. Т.Н. Шелест, ст.пр. С.С. Кривонос*

Вывод о существовании тёмной материи сделан на основании многочисленных, согласующихся друг с другом, но косвенных признаков поведения астрофизических объектов и по создаваемым ими гравитационным эффектам. Широкое распространение термин получил после работ Фрица Цвикки, который употребил его в 1933 году в своей работе. Цвикки измерил радиальные скорости восьми галактик в скоплении Кома (созвездие Волосы Вероники) и обнаружил, что для устойчивости скопления приходится предположить, что его полная масса в десятки раз больше, чем масса входящих в него звёзд.

Темная материя сродни обычному веществу в том смысле, что она способна собираться в сгустки (размером, скажем, с галактику или скопление галактик) и участвует в гравитационных взаимодействиях так же, как обычное вещество. Скорее всего, она состоит из новых, не открытых еще в земных условиях частиц.

Помимо космологических данных, в пользу существования темной материи служат измерения гравитационного поля в скоплениях галактик и в галактиках. Гравитационное поле скопления искривляет лучи света, испущенные галактикой, находящейся за скоплением, т. е. гравитационное поле действует как линза. Искривление света зависит от распределения массы в скоплении, независимо от того, какие частицы эту массу создают. Измеренные подобным образом массы скоплений галактик согласуются с тем, что темная материя вкладывает около 25% в полную плотность энергии во Вселенной.

Темная материя имеется и в галактиках. Чем сильнее гравитационное поле, тем быстрее вращаются вокруг галактики звезды и облака газа, так что измерения скоростей вращения в зависимости от расстояния до центра галактики позволяют восстановить распределение массы в ней. По мере удаления от центра галактики скорости вращения не уменьшаются, что говорит о том, что в галактике, в том числе вдалеке от её светящейся части, имеется несветящаяся, темная



материя. В нашей Галактике в окрестности Солнца масса темной материи примерно равна массе обычного вещества.

Что представляют из себя частицы темной материи? Ясно, что эти частицы не должны распадаться на другие, более легкие частицы, иначе бы они распались за время существования Вселенной. Сам этот факт свидетельствует о том, что в природе действует новый, не открытый пока закон сохранения, запрещающий этим частицам распадаться. Частицы темной материи чрезвычайно слабо взаимодействуют с нашим веществом, иначе они были бы уже обнаружены в земных экспериментах. Дальше начинается область гипотез. Наиболее правдоподобной (но далеко не единственной!) представляется гипотеза о том, что частицы темной материи в 100–1000 раз тяжелее протона, и что их взаимодействие с обычным веществом по интенсивности сравнимо с взаимодействием нейтрино.

Имеется несколько путей поиска частиц темной материи. Один из них связан с экспериментами на ускорителях высокой энергии – коллайдерах. Другой путь состоит в регистрации частиц темной материи, которые летают вокруг нас. Проблема в том, что они крайне слабо взаимодействуют с обычными частицами, вещество для них прозрачно. Тем не менее, частицы темной материи изредка сталкиваются с атомными ядрами, и эти столкновения можно надеяться зарегистрировать с помощью высокочувствительных детекторов, помещенных глубоко под землей, где резко снижен фон от космических лучей.

Наконец, еще один путь связан с регистрацией продуктов аннигиляции частиц темной материи между собой. Эти частицы должны скапливаться в центре Земли и в центре Солнца. Там они аннигилируют друг с другом, и при этом образуются другие частицы, в том числе нейтрино. Эти нейтрино свободно проходят сквозь толщу Земли или Солнца, и могут быть зарегистрированы специальными установками – нейтринными телескопами. Один из таких нейтринных телескопов расположен в глубине озера Байкал, другой (AMANDA) – глубоко во льду на Южном полюсе.

Имеются и другие подходы к поиску частиц темной материи, например, поиск продуктов их аннигиляции в центральной области нашей Галактики.

Какой из всех этих путей первым приведет к успеху, покажет время, но в любом случае открытие этих новых частиц и изучение их свойств станет важнейшим научным достижением.

## **ЗАГАДКИ НЕНЬЮТОНОВСКОЙ ЖИДКОСТИ**

**Национальный технический университет**

**«Харьковский политехнический институт»**

**Ст.: А.И. Комаров, Д.Е. Загребельный**

**Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин**

*"When studying sciences examples is more useful than rules."*

*Isaac Newton.*

В конце 17 века великий физик Исаак Ньютон, глядя на гребцов, обратил внимание, что грести вёслами быстро гораздо тяжелее, чем если делать это медленно. И Ньютон сформулировал закон о том, что вязкость жидкости зависит прямо пропорционально от силы воздействия на неё. То есть, чем больше сила воздействия, тем больше вязкость. Жидкости, которые не подчиняются закону Ньютона, названы неньютоновскими. Вязкость неньютоновских жидкостей растёт значительно быстрее чем сила воздействия, то есть зависимость получается нелинейной.

В дальнейшем механическое поведение ньютоновских жидкостей было изучено относительно полно и всесторонне. Однако, множество реальных жидких тел проявляют нелинейную, аномальную вязкость, а также свойства (например, пластичность, сдвиговую упругость, высокую эластичность), которые характерны для твердых тел. К таким жидкостям относятся глинистые растворы, загущенные нефтепродукты, растворы полимеров, краски, продукты лесохимической и пищевой промышленности, кровь. Поведение таких аномальных жидкостей – неньютоновских, изучает реология – наука о деформации и текучести вещества.

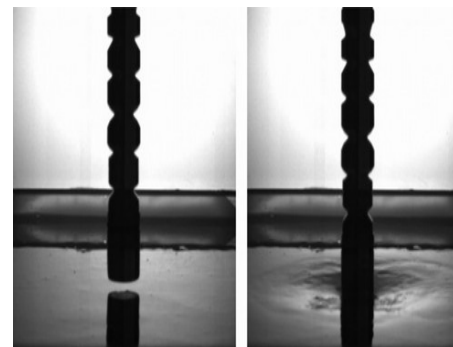
Ученым из Университета в Чикаго удалось впервые создать правдоподобную модель, описывающую природу так называемых неньютоновских жидкостей, сильно отличающихся по своему поведению при внешних воздействиях от обычных жидкостей. Зыбучий песок, также, как и разные виды так называемых неньютоновских жидкостей, обладает свойствами, характерными как для твердых объектов, так и для обыкновенных жидкостей. Неньютоновские жидкости состоят из мелких частиц, распределенных в жидкости, причем внешне могут напоминать твердые субстанции или гель. Зыбучие пески опасны тем, что они могут засасывать в себя все, что в них попадает. Стань на такой песок - и начнешь тонуть в нем, но если же быстро ударить по зыбучему песку, то он сразу же затвердеет. Ранее такое его поведение

объясняли наличием герметизирующей стенки, не дающей жидкости растекаться, или эффектом увеличения частиц под давлением. Однако, последние экспериментальные исследования, похоже, опровергают эти предположения, и, возможно, приведут к появлению новых объяснений свойств неньютоновских жидкостей.

Скотт Вайтукайтис (Scott R. Waitukaitis) и Генрих Йегер (Heinrich M. Jaeger) из Университета в Чикаго создали из воды и кукурузной муки субстанцию, подобную зыбучему песку, назвав ее «ооблек» («oobleck»). В ходе экспериментов они ударяли по образцам субстанции алюминиевым стрежнем и измеряли положение, скорость и ускорение стрежня при его взаимодействии с «ооблеком». На основании измерений было установлено, что затвердевание субстанции происходит от внутреннего сжатия и давления, распространяющегося по «ооблеку» от точки удара. Используя в своем исследовании огромное количество субстанции (25 литров), ученые показали, что необычные эффекты, проявляющиеся себя в неньютоновских жидкостях, не зависят от размера контейнера, а, следовательно, и само наличие удерживающих стен не является важным фактором. При помощи рентгеновской съемки, исследователи зарегистрировали образование твердых цилиндрических образований под местами ударов. Тщательно проанализировав эти данные, авторы предложили простую модель, описывающую столкновения, которая оказалась очень схожа с моделями, рассматривающими падение объектов в обычные жидкости, но в то же время демонстрирует совершенно другие объекты.

Для проведения эксперимента ученые устанавливали алюминиевый стержень на специальные направляющие рельсы, чтобы быть уверенными в его движении строго вдоль одной оси. В некоторых случаях они либо роняли стержень (что можно назвать свободным падением), либо использовали начальное ускорение для увеличения скорости стрежня, на котором был закреплен акселерометр. Весь процесс записывался камерой, предназначенной для высокоскоростной съемки, что позволяло исследователям точно измерять положение в любой момент времени, скорость и ускорение.

Суспензия содержала особые, хорошо различимые на рентгеновских снимках микрогранулы, благодаря присутствию которых и отслеживались все перемещения групп частиц субстанции. Авторы поместили сенсор, определяющий силу удара, прямо под стержнем на дне контейнера, чтобы выяснить, как ударная волна распространяется внутри взвеси. Также они использовали лазер для изучения изменений формы поверхности при ударе.



*Рис.1 Реакция смеси на удар*

заметно в стороны от столкновения. Наоборот, они формировали нечто, похожее на цилиндр, действующий как второй стержень внутри суспензии. Это образование было окружено конусообразной областью, в которой взвесь продвигалась вверх и в стороны в ответ на удар, слегка приподнимая поверхность вокруг места столкновения. А по прошествии некоторого времени цилиндр «таял», возвращая субстанцию в ее первоначальное квазизжидкое состояние.

Изучив полученные данные, исследователи создали модель суспензии, учитывающую размеры твердого цилиндрического образования и конусообразной области вокруг него. Выявленные сходства с моделями поведения стандартных жидкостей и перемещения масс вещества внутри них указывают на гибридную природу суспензий. Это также противоречит обычному подходу к физике неньютоновских жидкостей, согласно которому важную роль играют стены контейнера, а частицы, вместо того чтобы сформировать цилиндрический объект, должны просто «разбегаться» в стороны.

Общая картина процесса теперь становится понятнее: энергия удара, перемещаясь по прямой вниз и сталкиваясь с дном, возвращается вверх и образует второй «стержень». А что касается размеров и формы частиц взвеси, авторы исследования заявляют, что их модель применима к другим суспензиям и в тех случаях, если параметры гранул в субстанции будут совпадать.

1. Уилкинсон У.Л., Неньютоновские жидкости, М., 1964

2. Астарита Д. Ж., Марручи Д. Ж., Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей, пер. с англ., М., 1978

## ТЕОРИЯ СТРУН

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. Б.С. Портной  
Рук. доц. Т.Н. Шелест*

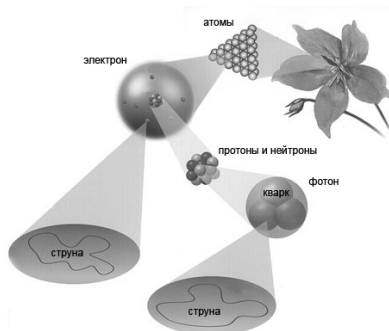
Красивым поэтическим словосочетанием «теория струн» названо одно из направлений в теоретической физике, объединяющее в себе идеи теории относительности и квантовую механику. Данное направление физики занимается изучением квантовых струн – то есть одномерных протяженных объектов.

Теория струн гласит о том, что мы живем в десятимерном пространстве, хотя ощущаем всего лишь 3-4. Остальные существуют в свернутом состоянии.

Теория относительности говорит о том, что наша Вселенная – это плоскость, а квантовая механика заявляет, что на микроуровне происходит бесконечное движение, из-за которого искривляется пространство. А теория струн пытается соединить эти два предположения, и в соответствии с ней, элементарные частицы представляются в виде специальных компонентов в составе каждого атома – оригинальных струн. Теория струн основана на гипотезе о том, что все элементарные частицы и их фундаментальные взаимодействия возникают в результате колебаний и взаимодействий ультрамикроскопических квантовых струн на масштабах порядка планковской длины  $10^{-35}$  м.

Для более точного понимания сути можно представить себе струны обычных музыкальных инструментов, которые могут в разное время натягиваться, успешно сворачиваться, постоянно вибрировать. Такими же свойствами обладают нити, взаимодействующие друг с другом при определенных вибрациях.

Сворачиваясь в стандартные петли, нити образуют более крупные разновидности частиц – кварки, электроны, чья масса уже будет напрямую зависеть от уровня натянутости и частоты вибрации волокон. Так что энергию струн соотносят именно с этими критериями.



Масса элементарных частиц будет выше при большем количестве излучаемой энергии.

Если верить учёным, то мы сами и всё вокруг нас состоит из бесконечного множества вот таких загадочных свернутых микрообъектов.

При изучении теории струн ученые многих стран периодически сталкивались с целым рядом проблем и нерешаемых вопросов. Самым важным моментом можно считать сложность математических формул, поэтому придать теории завершённый вид специалистам пока не удастся.

Теория струн способна объединить квантовую теорию и гравитацию, но сделать это, как оказалось, можно пятью способами. В 1994 г. в Эдвард Уиттен из Института перспективных исследований в Принстоне и Пол Таунсенд из Кембриджского университета выдвинули предположение о том, что все пять теорий струн на самом деле представляют собой одну теорию – но только если добавить одиннадцатое измерение. В одиннадцатом измерении может существовать новый математический объект, получивший название «мембрана». Но – поразительное наблюдение – при переходе от 11 измерений к 10 из единственной мембраны появляются все пять струнных теорий – и получается, что они представляют всего лишь разные пути перевода мембраны из одиннадцатимерного мира в десятимерный.

В качестве наглядной иллюстрации представьте себе надувной мяч с перехватывающей его по экватору резинкой. Представьте, что вы возьмете ножницы и срежете весь мяч по обе стороны от резинки. Останется только сама резинка, или струна. Точно так же, если свернуть одиннадцатое измерение, от мембраны останется только «экватор», он же струна. Математически существует пять способов убрать «мяч», или мембрану, при свертывании «лишнего» измерения – и соответственно в десятимерном пространстве мы получаем пять разных струнных теорий.

Возникло также предположение о том, что наша Вселенная – тоже мембрана, плавающая в одиннадцатимерном пространстве-времени. Более того, не все измерения при этом должны быть свернуты до бесконечно малых величин. Наоборот, некоторые из них могут быть бесконечными.

Является теория струн теорией всего, или нет, она дает нам в руки уникальный набор инструментов, позволяющий заглянуть в глубинные структуры реальности.

## ЭФФЕКТ ЛЕЙДЕНФРОСТА

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Е. Зленко, Ю. Гугнина*

*Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин*

Наблюдая за водой, человек может узнать так много..  
(Николас Спаркс)

Вода является самым распространенным веществом на планете Земля. Как кипит вода, эта невероятно интересная жидкость? Это настолько обыденная штука что, возможно, вы и не обращаете на нее никакого внимания. Но сегодня мы попробуем взглянуть по-новому на такое явление, как кипение. Начнем с наблюдения. Нагреем кастрюлю воды снизу пламенем или электрическим источником тепла. При нагревании воды, растворенные в ней молекулы воздуха выделяются из раствора и собираются в крошечные пузырьки в трещинах на дне кастрюли (эти участки достаточно малы, чтобы поверхностное натяжение не дало воде залить их при наполнении кастрюли). Со временем каждый пузырек раздувается, и его плавучесть увеличивается. В конце концов, пузырек отрывается от трещины и всплывает на поверхность воды. Так как трещина еще заполнена воздухом, там начинает образовываться другой пузырек. Образование пузырьков воздуха – знак того, что вода нагревается, но это еще далеко не кипение.

Вода, соприкасающаяся с атмосферой, кипит при температуре, которую иногда называют нормальной температурой кипения  $t_k$ . Например,  $t_k = 100^\circ\text{C}$  при давлении воздуха 1 атм. Так как вода на дне кастрюли не соприкасается с атмосферой, она остается жидкостью, даже если нагревается выше  $t_k$  на несколько градусов. При нагреве и перегреве она постоянно смешивается с остальной водой путём конвекции (горячая вода поднимается, и более холодная вода замещает ее).

При дальнейшем повышении температуры кастрюли нижний слой воды начнет испаряться, и молекулы воды будут собираться в маленькие пузырьки пара в сухих трещинах. Эта фаза кипения отмечена отрывистыми звуками, гудением и иногда жужжанием. Вода почти поет о том, как ей не нравится нагреваться. Каждый раз, как пузырек пара поднимается в более холодную воду, он внезапно исчезает, потому что пар внутри него конденсируется. При каждом таком исчезновении возникает звуковая волна – гудение, которое вы слышите. Когда температура всей массы воды повысится, пузырьки не смогут исчезнуть, пока они не оторвутся от трещин и не пройдут часть пути к поверхности

воды (рис.1).

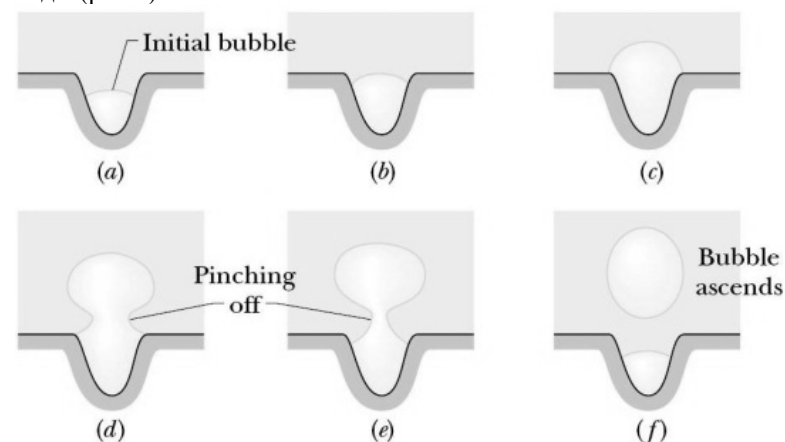


Рис.1 (a) Образование пузыря в трещине дна кастрюли. (b-f) Пузырь растет, сжимается, а затем поднимается через воду.

Если вы продолжаете нагревать кастрюлю, шум исчезающих пузырьков становится громче, а потом исчезает. Шум начинает смягчаться, когда вся вода достаточно горяча, чтобы пузырьки пара достигли поверхности; там они лопаются с легким всплеском. Теперь вода кипит.

Если ваш источник тепла – кухонная плита, история здесь кончается. Однако с помощью лабораторной горелки вы сможете продолжить повышать температуру кастрюли. Теперь пузырьки пара становятся столь многочисленными и отрываются от своих трещин так быстро, что они объединяются и образуют столбы пара, которые бурно и хаотически поднимаются вверх, иногда встречая ранее оторвавшиеся «куски» пара. Образование пузырьков и столбов пара называется пузырьчатым (дословно «зародышевым») парообразованием – образование и рост пузырьков зависит от трещин, служащих зародышевыми участками.

Если вы продолжаете повышать температуру кастрюли после стадии столбов и «кусков», парообразование вступает в новую фазу, называемую переходным режимом. Теперь при каждом последующем повышении температуры кастрюли скорость передачи тепла воде уменьшается. Это уменьшение – не парадокс. В переходном режиме большая часть дна кастрюли покрыта слоем пара. Так как водяной пар передает тепло на порядок хуже, чем жидкость, передача тепла воде уменьшается. Чем горячее становится кастрюля, тем меньше ее пря-

мой контакт с водой и тем хуже передача тепла. На практике эта пасной. Например, для теплообменника с источника. Если допустить, чтобы в переходный режим, источник может опасно перегреться из-за уменьшения отвода тепла.

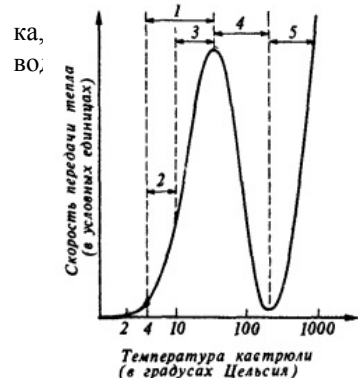


Рис.2 Кривая кипения для воды.

- 1 – пузырьчатое кипение,
- 2 – изолированные пузырьки,
- 3 – столбы и «куски» пара,
- 4 – переходной режим кипения,
- 5 – пленочное кипение.

Этот опыт впервые провел Лейденфрост. Но у него была небольшая ошибка о выводе его работы. Тот факт, что капля воды, нанесенная на металл, температура которого гораздо выше температуры кипения воды, живет долго, был впервые описан еще в 1732 году, но достаточно широко не исследовался до 1756 года, пока Иоганн Готлиб Лейденфрост не опубликовал свой «Трактат о некоторых свойствах обычной воды». Из-за того, что работа Лейденфроста не переводилась с латыни до 1965 года, она оказалась мало известной. Тем не менее сейчас именно его имя связывается с явлением долговременности жизни капли на горячей пластине. Лейденфрост делал опыты с железной ложкой, докрасна раскаленной в горне. Помещая в ложку каплю воды, он измерял время ее жизни с помощью качающегося маятника. Он отметил, что капля, казалось, всасывала свет и тепло ложки, оставляя на поверхности пятно более тусклое, чем остальная часть ложки. Первая капля продержалась в ложке 30 секунд, вторая капля – только 10, последующие – лишь несколько секунд. Лейденфрост неправильно понял результаты своих опытов, потому что не осознал, что долгоживущие капли на самом деле кипели.

Вернемся к нашим наблюдениям. Допустим, вы все еще продолжаете повышать температуру кастрюли с помощью лабораторной горелки. В конце концов, вся поверхность дна покроется паром, и тепло будет медленно передаваться жидкости над паром в основном путем излучения. Эта фаза называется пленочным кипением.

Этот опыт впервые провел Лейденфрост. Но у него была небольшая ошибка о выводе его работы. Тот факт, что капля воды, нанесенная на металл, температура которого гораздо выше температуры кипения воды, живет долго,

Мы проводили опыт, который подогрел плоскую металлическую пластину температурой термометром, мы из шприца, расположенного точно над жидкостью, получали капли одинакового размера. Капля падала в углубление, сделанное в пластине молотком с шаровым бойком. Уронив каплю, мы изучали время ее жизни на пластине. Затем, я нарисовал график зависимости времени жизни капли от температуры пластины (рис.3). У графика есть интересный пик. При температуре от 100 и приблизительно до 200 °C каждая капля растекалась по пластине тонким слоем и быстро испарялась. При более высокой температуре пластины водяные шарики не держались так долго. Температура, соответствующая пику, полученного нами, графика зависимости времени жизни капли от температуры поверхности (рис.3), называется точкой Лейденфроста.

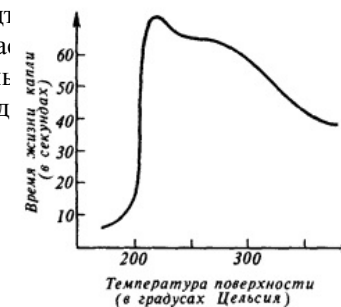


Рис.3. Кривая времени жизни капли воды на горячей поверхности.

При температуре пластины ниже точки Лейденфроста вода растекается по пластине и быстро отводит тепло от нее, что обеспечивает полное испарение капли за несколько секунд. Когда температура равна или выше точки Лейденфроста, нижняя часть капли, нанесенной на пластинку, почти мгновенно испаряется, и давление образовавшегося пара не позволяет остальной части капли коснуться пластины. Слой пара постоянно пополняется за счет дополнительной воды, испаряющейся с нижней поверхности, благодаря теплу от пластины, которое излучается и проводится сквозь пар. Хотя толщина слоя менее 0,1 мм у наружной границы и около 0,2 мм в центре, он резко замедляет испарение капли (рис.4). Таким образом пар поддерживает и защищает каплю в течение минуты или около того.

Похожий пример использования эффекта Лейденфроста описан в бестселлере Роберта Руанка «Нечто значительное». Чтобы определить, кто из двух людей говорит правду, вождь африканской деревни приказывал лизнуть горячий нож. Считалось, что язык правдивого человека будет смочен слюной. Тогда часть слюны подвергнется пленочному кипению, и язык не будет обожжен. С другой стороны, у лжеца пересохнет во рту, и защиты пленочным кипением не будет.

Есть несколько трюков, пос хождение по углям босиком ил нец. Последний, как на мой в поэтому я познакомилась с ним ми, мы обнаружили, что это при дить дома. Перед окунанием руки в свинец, ее смачивают водой. Часть воды на паль цах испаряется при введении руки в раскаленную массу, образуя защитный слой. Так как контакт был коротким, излучение и проводимости тепла было недостаточно для того, чтобы ощутимо поднять температуру кожи.

Эффект Лейденфроста, или точнее – наличие пленочного кипения, защищает пальцы от ожога. Таким же образом действует система хождение по углям. Перед выступлением у человека, который будет ходить по углям потеют ступни и выделяется влага. Или если же смочить ступни перед ходьбой, жидкость сможет также защищать их. Например, исполнитель мог пройти по сырой траве, перед тем, как ступить на горячие уголья. Ставая на них, вода испаряется, защищая ноги человека.

Эффект Лейденфроста применим и в некоторых отраслях. Вариант коммерческого применения — горячие трубопроводы, по которым под давлением проходит вода или другая жидкость. На основе этого эффекта, разрабатывается технология снижения сопротивления воды. Она могла бы использоваться в морских грузоперевозках, способствуя значительному сокращению расхода топлива — а значит, удешевлению процесса и снижению вредных выбросов.

- 1) Дж. Уокер. Квант / Дж. Уокер // Как кипит вода? – 1991. - № 5. – с. 34-36.
- 2) Дж. Уокер. Квант / Дж. Уокер // Как кипит вода? (Эффект Лейденфроста) – 1991. - № 6. – с. 33-35.
- 3) <http://eurofilter.com.ua/movement-of-water-droplets.html>
- 4) <http://virtuallab.by/>
- 5) [http://elementy.ru/novosti\\_nauki/431525/Effekt\\_Leydenfrost\\_a\\_pomogaet\\_telam\\_dvigatsya\\_napravlenno](http://elementy.ru/novosti_nauki/431525/Effekt_Leydenfrost_a_pomogaet_telam_dvigatsya_napravlenno)
- 6) Guillaume Lagubeau, Marie Le Merrer, Christophe Clanet, David Quéré. Leidenfrost on a ratchet // *Nature Physics* (published online 20 February 2011).

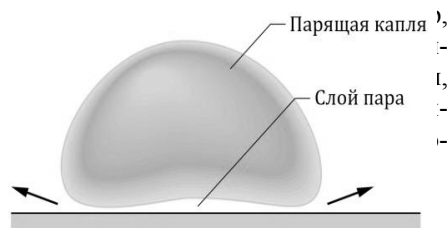


Рис. 4. Капля Лейденфроста в поперечном сечении

## ЭЛЕМЕНТ КАЛЛО

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

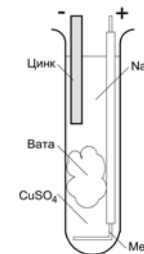
*Ст. О.А. Железняк  
Рук. доц. Т.Н. Шелест*

Гальванические источники электрического тока появились в конце XVIII века. Имеется много конструкций медно-цинковых элементов. Все они носят имена своих конструкторов. Есть элементы типа Мейдингера, Калло, Локвуда, Томсона и др. Но все эти элементы схожи по внешнему оформлению и почти одинаковы по принципу своего действия. Из этих конструкций наиболее прост в изготовлении элемент типа Калло.

Для постройки такого элемента требуется сосуд, кусок толстого медного одножильного изолированного провода, цинковая пластинка, медный купорос и 10% раствор поваренной соли.

Медная проволока — это отвод от положительного полюса элемента. Цинковая пластинка будет отводом от отрицательного полюса элемента. Теперь остается собрать элемент и зарядить его. На дно стакана кладется медная проволока, изогнутая в виде спирали, и засыпается медным купоросом. Затем в сосуд наливается кипяченая остуженная вода и погружается цинковая пластинка.

Затем производится зарядка. Для этого элемент замыкают накоротко, то-есть соединяют проводником положительный полюс с отрицательными и оставляют в таком положении приблизительно на сутки. После этого элемент размыкают — и он готов к действию. Такой элемент будет давать напряжение около 1 В.



При коротком замыкании элемента потечет электрический ток, возникающий в результате химической реакции между электродами и электролитом. При этой реакции медный купорос будет разлагаться, выделяя серную кислоту. А так как серная кислота значительно легче воды, она будет подниматься вверх. Вступая в реакцию с цинком, серная кислота образует раствор цинкового купороса, который плотным слоем окутает цинковую пластинку. Этот раствор не будет опускаться и будет всегда держаться наверху в силу того, что он легче раствора медного купороса и воды. Все это создает необходимые условия для устойчивой работы элемента.

## ТЕОРИЯ КВАРКОВ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Д.К. Кайдаш, М.Г. Кривуля*

*Рук.: асс. К.А. Минакова, проф. Е.С. Сыркин*

Понятие «элементарная частица» эволюционировало с тех самых пор, когда появилась идея о том, что есть такие мельчайшие неделимые частицы, из которых состоит материя. Вплоть до начала XX века таковым считался атом, но до 60-х годов ученые-физики углубились еще на три уровня «ниже» в микромир. В настоящее время истинно элементарными, т.е. такими, которые нельзя составить ни из каких других известных нам ныне частиц, являются электрон, позитрон, все виды нейтрино, фотоны и кварки.

Прежде, чем углубиться в классификацию и свойства кварков, необходимо упомянуть об истории их открытия. В 1964 году Марри Гелл-Ман и Джордж Цвейг независимо друг от друга представили модель, согласно которой все адроны, участники сильного взаимодействия, состоят из кварков. Эта модель поначалу включала только три кварка, количество которых пополнялось по мере открытия новых элементарных частиц, для описания которых трех кварков было недостаточно. Интересна также и этимология слова «кварк». Наиболее распространенной принята версия, согласно которой кварк был заимствован из романа Джеймса Джойса «Поминки по Финнегану», где в одном из эпизодов звучит фраза «Три кварка для Мастера Марка!» [1].

Рассмотрим классификацию и свойства кварков. Чтобы различать 6 кварков, американские физики наделили кварки свойством, которое они назвали «аромат». Обычны названия только первых двух ароматов: «верхний»(u) и «нижний»(d), у остальных они весьма необычны, даже поэтичны, таких не ожидаешь встретить среди понятий такой серьезной точной науки: «странный»(s), «очаровательный»(c), «красивый»(b) и «истинный»(t). Каждый кварк независимо от его аромата имеет три цветовые разновидности, соответствующие трем «основным цветам»: «красному», «синему» и «зеленому». Естественно, кварковые цвета не попадают под привычное для всех понятия «цвет». Каждому кварку соответствует антикварк, наделенный «антицветом». Кварки и антикварки отличаются не только цветом, но и знаком заряда. Помимо трех вышеописанных свойств, кварки наделены также массой и такими квантовыми числами: спином, изоспином, барион-

ным зарядом, странностью, очарованием, прелестью (боттомностью) и истинностью (топностью). Еще одно свойство кварков, из-за которого некоторые сомневаются в реальности их существования – конфайнмент – удержание цвета внутри адронов. Дело в том, что кварки в принципе не могут существовать в свободном виде, они существуют только связанные внутри адронов, причем силы их взаимодействия достаточно необычны: чем больше расстояние между кварками, тем больше энергия взаимодействия [2]. Вообще кварки участвуют во всех возможных типах взаимодействия. При сильных взаимодействиях может измениться цвет кварка, но не аромат, а слабые взаимодействия меняют аромат, но не цвет [3].

Согласно модели Гелл-Мана и Цвейга, из кварков состоят адроны – барионы и мезоны. Барионы – элементарные частицы, которые могут участвовать в сильном взаимодействии и имеют полуцелый спин. Каждый барион строится из трех кварков разных цветов или антицветов. Барион имеет заряд +1 или -1, он получается при сложении барионных зарядов. К ним относятся наиболее распространенные «обычные» протон и нейтрон, а также ряд «странных» и «очарованных» частиц. К мезонам относятся элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии и имеющие целый спин. Каждый мезон состоит из кварка и антикварка. Существует их четыре разновидности: «обычные», «странные», «очарованные» и «прелестные».

В целом, несмотря на подобие некоторой довольно условной модели строения материи, теория кварков, несомненно, не является ошибочной. Кварки действительно существуют, но только в связанном существовании. Поэтому сам термин «существование» в физике микромира обретает несколько неожиданную трактовку и требует даже к некоторой степени философского переосмысления.

### Литература:

1. Интернет-страница - <https://traditio.wiki/%D0%9A%D0%B2%D0%B0%D1%80%D0%BA>
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.: ил.
3. Алешкевич В.А. Электромагнетизм. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 404 с. – ISBN 987-5-9221-1555-1

## ЧОРНІ ДІРИ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. М. Парасочка*

*Кер.: доц. І.В. Синельник, інж.С.М. Колубасва*

Чорна діра — астрофізичний об'єкт, який створює настільки потужну силу тяжіння, що жодні, як завгодно швидкі частинки, або випромінювання не можуть покинути його поверхню. Чорні й білі діри — це одна з найменш досліджених тем на сьогоднішній день. Отже метою моєї роботи було зібрати всю цікаву інформацію про цих тілах.

У ньютонівської теорії всесвітнього тяжіння (1687 р.) кожне масивне тіло породжує силове поле тяжіння до цього тіла, яке називається гравітаційним полем. Це поле потенційно. Якщо щільність і маса космічного тіла настільки великі, що швидкість виходу з його гравітаційного поля вище швидкості світла, таке тіло буде представлятися зовнішньому спостерігачеві абсолютно чорним, оскільки світ його покинути не може.

Саме неймовірне «прозріння» Джона Мичелла (1783)— передбачення того, що він сам називав «темними зірками», які, на його думку, настільки масивні, що навіть світло не може подолати силу їх тяжіння.

У кінці XVIII століття П'єр-Сімон Лаплас вказав на наступне: щоб тіло, маса якого дорівнює масі Землі, перетворилося в чорну діру, воно повинно мати радіус менше сантиметра, а тіло з масою Сонця повинен стиснутися до діаметра менше кілометра. Але тоді ніхто не надав цьому особливого значення.

Згідно з загальною теорією відносності Ейнштейна (1915) простір і час тісно взаємопов'язані, темп часу залежить від гравітаційного поля. Таким чином масивні тіла стягують простір-час на себе. Зокрема, поблизу масивних об'єктів час тече повільніше, ніж на віддаленні від них. З'ясовується, що розмір чорної діри відповідно до теорії Ейнштейна описується тією ж формулою, запропонованою ще Лапласом в рамках механіки Ньютона, проте її фізична інтерпретація докорінно змінюється. Німецький фізик Карл Шварцшильд (1916) знайшов найпростіше сферично симетричне рішення рівнянь Ейнштейна.

Хоча припущення про існування чорних дір почали висловлюватися майже за півтора століття до публікації Ейнштейном загальної теорії відносності, переконливі свідчення реальності їх існування отримані зовсім недавно.

Є достатньо даних спостережень, що свідчать про реальність існування чорних дір у Всесвіті. З астрофізичної точки зору виявлені чорні діри поділяються на дві категорії. Перша — це чорні діри, які утворилися в результаті колапсу масивних зірок і мають відповідну масу. Друга — це набагато більш масивні чорні діри в центрах галактик. Передбачається, що всі великі галактики, включаючи нашу, мають в центрі свою чорну діру.

За способом виявлення чорні діри можна класифікувати за видами:

1. За спостереженнями за характером руху міжзоряного газу поблизу центрів галактик були виявлені надмасивні чорні діри. Фактично астрофізики знайшли вже десятки таких масивних чорних дір у центрах сусідніх з нашою галактик, і підозрюють, що будь-центр галактики — суть чорна діра.

2. В процесі еволюції зірок, коли зірка з масою, що перевищує приблизно 30 мас Сонця, гине зі спалахом наднової, її зовнішня оболонка розлітається, а внутрішні шари стрімко падають до центра і утворює чорну діру. Ізольовану в міжзоряному просторі чорну діру такого походження виявити практично неможливо. Однак, якщо така чорна діра входила до складу подвійної зоряної системи, вона буде як і раніше надавати гравітаційний вплив на парну їй зірку. Астрономи сьогодні мають більше десятка кандидатів на роль зоряних систем такого роду, хоча строгих доказів не отримано щодо жодної з них.

3. У більшості виявлених випадків спостереження рентгенівських подвійних зірок масивним об'єктом є нейтронна зірка. Однак нараховано вже більше десятка випадків, коли єдиним розумним поясненням поведінки такої подвійної зоряної системи є присутність чорної діри.

4. Всі інші типи чорних дір засновані виключно на теоретичних дослідженнях — експериментальних підтвердженнях їх існування поки що немає.

Існує теорія, що якщо чорна діра поглинає матерію, то обов'язково є дірка, яка викидає його. Біла діра — це гіпотетичний космічний об'єкт, еволюція якого представляє собою обернений часу гравітаційний колапс небесного тіла з утворенням чорної діри. Білі діри можуть бути "виходом" із чорних дір. Незважаючи на малу ймовірність істинності гіпотез, ми повинні не забувати, що колись чорні діри теж були лише припущеннями людства.



## **НАУКОВО-МЕТОДИЧНА СЕКЦІЯ**

### **ФУНКЦІОНАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ РОБОТИ АПАРАТУ ДЛЯ УЗД**

*Харківський національний медичний університет*

*Ст. В.В. Венцель*

*Кер. доц. Г.О. Човпан*

**Актуальність:** На етапі четвертої технологічної революції в світі ультразвукова діагностика використовується в медицині надзвичайно широко. Використання УЗД з її значною можливістю вирішувати складні діагностичні проблеми сприяє тому, що вона стала постійним, стабільним і надійним помічником діагноста-клініциста практично в усіх сферах його практичної діяльності. Основна цінність використання УЗД визначається малоінвазивністю методу, його високою інформативністю та нешкідливістю для пацієнта та лікаря. Проте на сьогоднішній день існують галузі медицини, в яких УЗД застосовується дещо менше, незважаючи на її значні переваги та можливості використання. Досвід, який накопичений в нашій країні та за кордоном, щодо використання УЗД в медичній діагностиці свідчить про необхідність його широкого впровадження та обумовлює актуальність вибраної теми дослідження.

**Мета:** вивчення принципів роботи апарату для УЗД в медицині.

**Основний текст:** На даний час хворим важко уявити, що зовсім недавно лікарі не використовували такого методу діагностики, як ультразвукове дослідження. Свого часу ультразвук здійснив справжню революцію у медицині та надав лікарям можливість високоінформативного та нешкідливого способу обстеження пацієнтів. З історії відомо, що про наявність в природі звукових хвиль, які людина не сприймає, здогадувались давно, але відкрив так звані «невідомі хвилі» італієць Л. Спалланцані в 1794 році, коли довів, що летючі миші не орієнтуються в просторі, коли у них закриті вуха. Основою головного компонента любого приладу УЗД стало відкриття братів Кюрі, які в 1880 році виявили п'єзoeлектричний ефект, що виникає в кварцовому кристалі при механічній взаємодії. Перші спроби використати ультразвук в медицині були в 30-х роках ХХ століття, коли його властивості почали застосовувати в фізіотерапії артритів та інших захворювань. Основоположником сучасної УЗД вважають К. Дюссіка – віденського психоневролога, який у 1947 році представив метод, що назвав гіперсонографією, йому вдалося виявити пухлину мозку, вимірюючи інтен-

сивність, з якою ультразвукова хвиля проходила крізь череп хворого. Перші апарати УЗД мало походили на сучасні апарати. Проте справжній прорив відбувся у 1949 році в США, коли був сконструйований перший апарат для медичного сканування, його творцем став американський вчений Д. Хаурі. При цьому лише в 1960-х роках сканери УЗД стали набувати сучасного вигляду з мануальними датчиками. Тоді ж почалась практика серед лікарів отримувати ліцензії для використання методу УЗД.

Важливою умовою для об'єктивної інтерпретації ехографічної картини є правильна уява лікаря про можливості ультразвуку, його розповсюдження та відображення. Ультразвук представляє коливальні рухи частинок пружного середовища, які хвилеподібно поширюються. Внаслідок зміщення частинок в середовищі утворюються ділянки підвищеного і зниженого тиску з частотою повторення більше 16 КГц. В ультразвуковій діагностиці і терапії використовують діапазон частот 0,8-15 МГц, а в акустичній мікроскопії – від 12 МГц до 1 ГГц та вище.

Слід відмітити, що основні властивості ультразвуку, завдяки яким стало можливим його використання в медичному діагностуванні, це поширення в середовищах організму, фокусування, відображення, в тому числі від меж між середовищами. Поширення ультразвукових хвиль визначається швидкістю, частотою і енергією випромінювання. При цьому швидкість ультразвуку залежить від щільності середовища та адіабатичного об'ємного модуля щільності. В біологічних тканинах, крім кісткової та легеневої тканин, ультразвукові хвилі поширюються так само, як у рідинах, із середньою швидкістю 1540 м/с дана константа дозволяє проводити прижиттєву морфометрію з врахуванням часу реєстрації ехо-сигналу.

На сьогоднішній день цифрові ультразвукові апарати експертного класу забезпечують високу якість зображення і розширюють можливість обробки даних, а також оптимізацію раніше збережених В-, РW- і CFM- зображень, постобробку динамічних зображень та об'ємну реконструкцію на основі даних кінопетлі. При цифровому формуванні ультразвукового променя оцифровуються ехосигнали і забезпечується рівномірне високе латеральне і аксіальне проникнення ультразвукового променя по всій глибині середовища організму. При цьому висока якість зображення досягається завдяки новим технологіям, які засновані на посиленні слабких ехосигналів і придушенні артефактів шляхом створення кодової послідовності імпульсів на передачу з можливістю їх декодування при прийомі за допомогою цифрового декодера. Необхідно відмітити, що тільки сучасні ультразвукові прилади оснащені новими режимами сканування. В останні

роки провідні виробники ультразвукового діагностичного обладнання роблять акцент на розробку технологій, що поліпшують кількість се-рошкального зображення. Компанія General Electric, додатково до загальнодоступних режимів оптимізації ультразвукових зображень, пропонує користувачам такі технології, як Speckle Reduction Imaging (SRI) MCrossXBeam (CRI). SRI-технологія спрямована на ослаблення артефактів, так званих спеклів, що є безпосередньою складовою будь-якого ультразвукового зображення і формують ефект зернистості або плямистості тканини сканування. Наявність спеклів обумовлена множинними дрібними, близько розташованими ультразвуковими відбивачами на шляху поширення ультразвукового променя в тілі людини. SRI, як адаптивний математичний алгоритм, дозволяє зменшувати артефакти, але при цьому не видаляє структури, що формують саме зображення, покращує контрастний дозвіл і візуалізацію меж тканин лоціруємого органу. В свою чергу CRI є вдосконаленим варіантом складеного зображення, що формується за рахунок ультразвукових променів, які направлені при скануванні під різними кутами, що залежить від приладу, кількість таких променів може регулювати оператор. При цьому комбіноване зображення генерується шляхом відображення під прямим кутом більшої кількості відбивачів, відповідно сигналами більшої амплітуди в порівнянні з звичайним зображенням, що обумовлює збільшення контрастного дозволу, покращення диференціації тканин та її меж, кращу візуалізацію біопсійної голки, ослаблення шумів і деяких артефактів.

Слід відмітити, що ультразвукове зображення можна отримати при одночасному використанні SRI- та CRI-технологій, їх поєднанні з режимом 2-ї гармоніки, у віртуальному конвексійному режимі, при панорамному скануванні, тривимірній і чотиривимірній реконструкціях. Таким чином, безпека хворого, простота обробки результатів і порівняно низькі витрати роблять, на даному етапі, ультразвукову діагностику незамінною при диспансерних оглядах та експрес-діагностиці у сучасній медицині. Необхідно зазначити, що методи УЗД продовжують активно розвиватися. На зміну двохмірній візуалізації приходять нові технології, які дозволяють отримати об'ємну картинку, розглянути органи всередині тіла, відтворити зовнішній вигляд плоду. Наприклад, трьохмірне УЗД створює 3D зображення в будь-якому ракурсі, ехоконтрастування полягає в ультразвуковому дослідженні із застосуванням внутрішньовенного контрасту, який містить мікроскопічні газові бульбашки, відрізняється найвищою точністю діагностики. При цьому існує технологія, яка використовується для пацієнтів із надлишковою вагою, тканинна, або 2-а гармоніка – процес із покра-

щеною якістю і контрастом зображення. Соноеластографія – ультразвукова діагностика із застосуванням додаткового фактору – тиску, який допомагає по характеру скорочення тканин визначити паталогічні зміни. Досить поширена ультразвукова томографія, яка є аналогічною по інформативності КТ та МРТ, але при цьому абсолютно нешкідлива, яка збирає об'ємну інформацію з подальшою комп'ютерною обробкою зображення в трьох площинах. Крім того слід відмітити, 4D-УЗД – технологію з можливістю навігації в середині судин, яка по якості зображення схожа із ендоскопічним зображенням.

При проведенні даного дослідження неможливо оминати роль ультразвукової діагностики у виявленні онкологічних захворювань. Звичайно кінцева діагностика у онкологічних хворих здійснюється в спеціалізованих установах, які обладнанні новітніми технологіями та апаратами, що згадувалися вище. Проте досить часто вирішальну інформацію можна отримати уже на перших етапах діагностичного обстеження, до яких і відноситься УЗД. При обстеженні хворих з онкологічними захворюваннями лікар, який здійснює ультразвукове обстеження, прагне вирішити наступні завдання і відповісти на ряд питань, зокрема, первинна діагностика, диференціальна діагностика, морфологічна верифікація, уточнююча діагностика, діагностика ускладнень. Виявлення на так званих доклінічних стадіях онкологічних захворювань не можливе без застосування апаратів УЗД.

**Висновки:** Отже, нешкідливість та малоінвазивність ультразвукової діагностики дають можливість застосовувати її до різних вікових груп пацієнтів, а також до жінок у період вагітності та лактації. Наукові дослідження свідчать, що діагностичні дози ультразвуку не накопичуються, на відміну від променевого та радіонуклідного впливу, що дозволяє проводити неодноразові обстеження хворого без обмеження інтервалу між ними, а це, в свою чергу, дає можливість оцінювати процеси в динаміці. Ультразвукові дослідження також використовуються для оцінки стану внутрішніх органів: нирок, печінки, підшлункової залози, серця, судин та іншого. Крім того, під ультразвуковим контролем проводиться біопсія тканини внутрішніх органів, що дозволяє досліджувати ці тканини в патоморфологічній лабораторії, при діагностиці онкозахворювань. При цьому важливою перевагою ультразвукової діагностики є швидкість методу обстеження, візуалізація в режимі реального часу, простота підготовки до процедури. Тому і надалі вба-чається необхідним впровадження простого, доступного та нешкідливого використання апаратів УЗД з метою отримання достовірної інформації, яка необхідна для визначення подальшої тактики лікування.

## НАНОТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ АДРЕСНОЙ ДОСТАВКИ НУКЛЕИНОВЫХ КИСЛОТ В КЛЕТКИ

*Харьковский национальный медицинский университет*

*Ст.: Е.В. Безега, А.Э. Осокин*

*Рук. доц. Човпан А.А.*

**Актуальность.** Ключевой проблемой, от которой зависит успешное развитие нанотехнологий, является создание эффективных нанотранспортных систем доставки лекарственных препаратов в клетки. Решение этой задачи позволит увеличить продолжительность действия лекарств, минимизировать побочные эффекты и, как следствие, повысить эффективность терапевтического лечения и способствовать развитию экологически чистых процессов. Уникальные особенности нуклеиновых кислот (НК), такие как способность к самоорганизации, самовоспроизведению, молекулярному узнаванию мишени и возможность интеграции в клеточный геном, лежат в основе генной терапии. Со времени первых работ по генной терапии создание способов и систем доставки экзогенного генетического материала в определенные органы, ткани или клетки было и остается основной проблемой, от решения которой зависит успешное применение методов генной терапии [1, 2]. Основная цель исследований в этой области – это разработка векторов, т.е. адресных систем доставки генов в локальные участки тканей и в определенные типы клеток, обеспечивающих высокий уровень экспрессии терапевтических генов в организме.

Наиболее эффективными средствами для доставки генетических конструкций в клетки до настоящего времени являются векторы на основе вирусов [3–5]. Для создания генно-терапевтических векторов наиболее перспективны ретро-вирусы – РНК-геномные вирусы, которые легко интегрируют в геном клетки-хозяина, тем самым обеспечивая долговременную экспрессию необходимого гена. В отличие от ретровирусных векторов аденовирусные векторы, сконструированные на базе ДНК-содержащих вирусов позвоночных, могут переносить достаточно длинные гены (кодирующая емкость трансгенов до 37 000 пар оснований). Также, в настоящее время разрабатываются векторные системы и на основе вируса простого герпеса [6]. Уникальной особенностью этого вируса является его выраженная тропность к клеткам нервной системы, что делает вирус простого герпеса перспективным вектором для лечения опухолей мозга, болезни Паркинсона и многих других [7].

Альтернативой вирусным векторам являются невирусные системы доставки, которые включают введение генетических конструкций в состав липосом [8] или упакованных с помощью олигопептидов молекулярных конъюгатов, модифицированных хитозанов, гликокативных липидов, углеводных векторов. Эти носители в значительной мере лишены недостатков, присущих вирусным векторам, однако способность к трансформации у большинства из них ниже, чем у вирусных векторов. В качестве векторов для доставки терапевтических препаратов к опухолевым клеткам используются некоторые гормоны, онкофетальные белки, в частности альфа-фетопротейн, и факторы роста, рецепторы которых представляют собой опухолеспецифические белки, находящиеся в основном на поверхности раковых клеток. Полимерные наноматериалы обладают рядом преимуществ, определяющих эффективность их применения в технологиях доставки, – биосовместимостью, способностью к биодegradации, функциональной совместимостью. Типичными соединениями, которые представляют основу для создания полимерных наночастиц, являются полиэтиленмин, полиамидоамин, полимолочная и полигликолевая кислоты, полиэтиленгликоль, поликапролактон и другие, а также их различные сополимеры. Контролируемые размеры и свойства поверхности, а также стабильность дендримеров делают их весьма перспективными для использования в качестве средств доставки нуклеиновых кислот в клетки. Углеродные нанотрубки обладают повышенным сродством к липидным структурам. Они также способны образовывать стабильные комплексы с пептидами и нуклеиновыми кислотами и инкапсулировать эти молекулы. Это определяет их применение в области создания эффективных систем доставки вакцин и генетического материала. Наночастицы золота, наносферы, наностержни, сформированные молекулами золота и никеля, наночастицы железа, обладающие магнитными свойствами, и другие наноструктуры, содержащие металлы, в настоящее время эффективно используются для доставки олигонуклеотидов и нуклеиновых кислот в клетки [9–10]. Основным недостатком нуклеиновых кислот как биомедицинских препаратов является их деградация в клетке под действием клеточных нуклеаз. Для защиты от нуклеазной деградации были сконструированы многослойные наночастицы фосфат кальция/ДНК, в которых ДНК находится как внутри частицы, сформированной из нескольких слоев фосфата кальция, так и на ее. Неорганические наночастицы имеют ряд преимуществ по сравнению с органическими. Они не подвергаются действию микробов, могут быть легко приготовлены, могут храниться длительное время без потери трансфицирующей активности, многие из них обладают

хорошей способностью к биодegradации, имеют низкую токсичность и являются биологически совместимыми с тканями организма.

Исследования возможностей адресной доставки терапевтических и диагностических препаратов, включая нуклеиновые кислоты, в отдельные клетки, органы и ткани организма находятся на переднем крае науки, и внедрение нанотехнологий в медицинский сектор сможет существенно повысить качество медицинских услуг. Использование нанотранспортных систем позволит доставлять эти препараты в определенную точку-мишень организма, обеспечить их аккумуляцию, эффективную защиту от деградации и высвобождение в определенное время в необходимых дозах, тем самым пролонгируя их действие и обеспечивая более надежное и контролируемое лечение заболеваний.

1. Anderson W.F. // Human gene therapy. Science. 1992. V. 256. № 5058. P. 808–813.

2. Жданов Р.И., Семенова Н.В., Арчаков А.И. // Реальности и надежды современной генотерапии. Вопросы медицинской химии. 2000. Т. 46. № 3. С. 197–206.

3. Walther W., Stein U. // Viral vectors for gene transfer: a review of their use in the treatment of human diseases. Drugs. 2000. V. 60. № 2. P. 249–271.

4. Mah C., Byrne B.J., Flotte T.R. // Virus-based gene delivery systems. Clin. Pharmacokinet. 2002. V. 41. № 12. P. 901–911.

5. Mancheño-Corvo P., Martín-Duque P. // Viral gene therapy. Clin. Transl. Oncol. 2006. V. 8. № 12. P. 858–867.

6. Marconi P., Argnani R., Berto E., Epstein A.L., Manservigi R. // HSV as a vector in vaccine development and gene therapy. Hum Vaccin. 2008. V. 4. № 2. P. 91–105.

7. Yeomans D.C., Wilson S.P. // Herpes virus-based recombinant herpes vectors: gene therapy for pain and molecular tool for pain science. Gene Ther. 2009. V. 16, P. 502–508.

8. Kaneda Y., Morishita R., Dzau V.J. // Prevention of restenosis by gene therapy. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1997. V. 811. № 15. P. 299–308.

9. Rosi N.L., Giljohann D.A., Thaxton C.S., Lytton-Jean A.K., Han M.S., Mirkin C.A. // Oligonucleotide-modified gold nanoparticles for intracellular gene regulation. Science. 2006. V. 312. № 5776. P. 1027–1030.

10. Giljohann D.A., Seferos D.S., Patel P.C., Millstone J.E., Rosi N.L., Mirkin C.A. // Oligonucleotide loading determines cellular uptake of DNA-modified gold nanoparticles. Nano Lett. 2007. V. 7. № 12. P. 3818–3821.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МАЯТНИКА

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст. Д.М. Абрамов*

*Рук.: ст.пр. О.Н. Андреева, доц. А.Н. Андреев,*

*доц. А.Г. Лазаренко*

Колебания любого тела около положения равновесия, после сообщения ему энергии называются свободными. На все реальные колебательные системы всегда действуют силы трения, обусловленные различными факторами и приводящими к уменьшению с течением времени амплитуды колебаний. Поэтому все свободные колебания, встречающиеся в природе и технике, являются затухающими. Обычно энергия колеблющегося тела тратится на преодоление сил сопротивления среды. Поэтому целью данной работы является определение коэффициента сопротивления среды и других параметров затухающих колебаний с помощью физического маятника.

### Теория

Физический маятник – это твердое тело, совершающее колебания в поле сил тяжести вокруг оси, не проходящей через центр тяжести. При небольших углах отклонения маятника его колебания можно считать гармоническими. Затухания колебаний обусловлено действием на маятник тормозящего момента  $M_{mp}$ , пропорционального угловой скорости  $\frac{d\varphi}{dt}$ :

$$M_{mp} = -r \frac{d\varphi}{dt}, \quad (1)$$

где  $r$  – коэффициент сопротивления среды.

Знак «минус» указывает на то, что тормозящий момент направлен в сторону, противоположную вектору угловой скорости.

Колебания маятника являются частным случаем вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси. Поэтому особенности движения маятника можно изучить, используя основной закон динамики вращательного движения тела относительно оси, проходящей через точку его подвеса. Тогда момент сил действующих на маятник определяется, как сумма вращающего момента  $M$  и тормозящего

момента  $M_{mp}$ :

$$I\varepsilon = M_{mp} + M = -r \frac{d\varphi}{dt} - mgl\varphi, \quad (2)$$

где  $I$  – момент инерции маятника;  $\varepsilon$  – угловое ускорение маятника;  $m$  – масса маятник;  $g$  – ускорение свободного падения;  $l$  – расстояние от точки подвеса маятника до его центра масс;  $\varphi$  – угол, на который отклоняется маятник от положения равновесия.

Разделив выражение (2) на момент инерции маятника получим:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{r}{I} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{mgl}{I} \varphi = 0. \quad (3)$$

Введем обозначения:  $\frac{r}{I} = 2\beta$ ,  $\frac{mgl}{I} = \omega_0^2$  и получим дифференциальное уравнение затухающих колебаний физического маятника:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2\beta \frac{d\varphi}{dt} + \omega_0^2 \varphi = 0. \quad (4)$$

Решение уравнения (4) имеет следующий вид:

$$\varphi = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (5)$$

где  $A_0$  – начальная амплитуда колебаний;  $\beta$  – коэффициент затухания;  $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$  – частота затухающих колебаний;  $\varphi_0$  – начальная фаза колебаний.

Решение (5) можно рассматривать, как гармоническое колебание с частотой  $\omega$  и амплитудой уменьшающейся со временем по экспоненциальному закону:

$$A(t) = A_0 e^{-\beta t}. \quad (6)$$

Из (6) видно, что скорость затухания колебаний определяется величиной коэффициента затухания  $\beta$ , а отношение амплитуды  $A(t)$  к амплитуде через период  $A(t+T)$  называется декрементом затухания:

$$D = \frac{A(t)}{A(t+T)} = \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = \frac{e^{-\beta t}}{e^{-\beta t} + e^{-\beta T}} = e^{\beta T}, \quad (7)$$

где  $T$  – период затухающих колебаний физического маятника.

Еще одной важной характеристикой затухающих колебаний является логарифмический декремент затухания  $\delta$ :

$$\delta = \ln e^{\beta T} = \beta T. \quad (8)$$

Сопротивление среды влияет не только на амплитуду колебаний, но и на период затухающих колебаний  $T$ :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}. \quad (9)$$

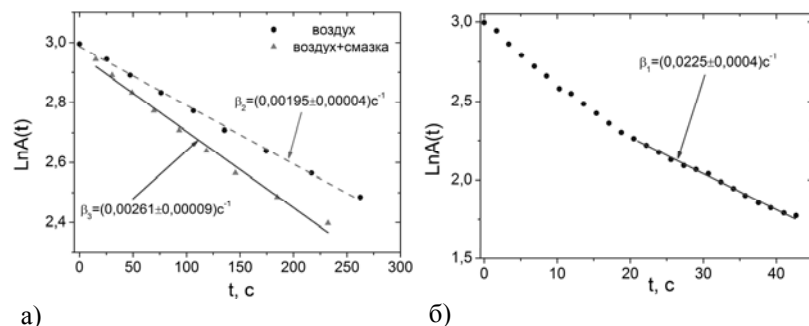
Из (6) и (9) следуют, что при затухании частота колебаний системы уменьшается, а период возрастает. Однако, при небольших затуханиях эти изменения невелики по сравнению с изменением амплитуды.

## Методика и результаты измерений

Определение коэффициента сопротивления воздуха в данной работе проводилось с помощью физического маятника, представляющего собой цилиндрический стержень с опорной призмой. Для наблюдения за изменением амплитуды колебаний со временем использовались различные методы визуализации смещения маятника от положения равновесия. Наиболее наглядный результат удалось получить, прикрепив к нижней части стержня полупроводниковый лазер, посылающий на горизонтальную неподвижную шкалу световой луч. При колебаниях маятника световое пятно перемещается по шкале на расстояние, пропорциональное угловому смещению маятника, что позволяет определить амплитуду колебаний в данный момент времени. В работе так же была проведена видеосъемка колебаний маятника и построена осциллограмма. Для определения коэффициента затухания в работе использовался графический метод и аналитический расчет.

*Графический метод.* Согласно выражению (6), амплитуда затухающих колебаний со временем убывает по экспоненциальному закону, а зависимость  $\ln A$  от времени будет линейной, причем тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс равен коэффициенту затуханию  $\beta$ . Поскольку маятник имеет опорную призму, то необходимо было выяснить какой вклад в затухание, вносят трение в подвесе и сопротивление воздуха. Для изменения действующей на маятник силы сопротивления воздуха, увеличивалась площадь поверхности маятника. Сила трения в подвесе менялась путем нанесения смазки на опорную призму. На рис. 1. представлены зависимости  $\ln A(t)$  для: сухого и вязкого трения между опорной призмой и подвесом (рис. 1а) и для маятника с прикрепленным картонным листом (рис. 1б). Экспериментальные точки аппроксимировались прямой линией по методу наименьших квадратов, что позволило определить коэффициент затухания. Для рис. 1б линейная аппроксимация выполнялась на участке, который соответствовал гармоническим колебаниям. Из рис. 1 видно, что при увеличении площади поверхности маятника коэффициент затухания  $\beta$  возрастает на порядок, а при наличии вязкого трения только на

30 %. Из этого следует, сила сопротивления воздуха вносит наибольший вклад в затухание колебаний маятника, чем сила трения между опорной призмой и подвесом. Поэтому для дальнейших расчетов использовалось значение коэффициента  $\beta = 0,00195 \text{ c}^{-1}$ .



а) б) Рис. 1. Временная зависимость  $\ln A(t)$  для различных конфигураций физического маятника: а) без смазки опорной призмы и подвеса и со смазкой; б) с картоном.

Аналитический метод основан на определении числа полных колебаний маятника  $N_1$  за время, в течение которого амплитуда колебаний изменяется от  $A_0$  до  $A_t$  (например, на 2 см). Согласно выражению (7)  $\frac{A_0}{A(t)} = e^{\beta t} \Rightarrow \ln \frac{A_0}{A(t)} = \beta t$ , тогда коэффициент затухания

можно определить по формуле:  $\beta = \frac{1}{N_1 T} \ln \frac{A_0}{A(t)}$ . Поскольку затухание

маятника мало, то для определения  $\frac{A_0}{A(t)}$  необходимо значительное

время, поэтому в работе предложено вместо определения  $\frac{A_0}{A(t)}$  опре-

делять  $\alpha = \frac{A_0}{A_0 - \Delta A}$ , где  $\Delta A$  – изменении амплитуды колебаний маятника на 1 см. Тогда выражение для расчета коэффициента затуха-

ния будет  $\beta = \frac{1}{N_1 T} \ln \alpha$ . Согласно расчетам, проведенным в работе,

для случая  $N_1 = 29$ ,  $T = 1,676 \text{ c}$  и  $\alpha = \frac{20}{20-2} = 1,11$ ,

$$\beta = \frac{1}{N_1 T} \ln \alpha = \frac{1}{1,676 \cdot 29} \ln(1,11) = 0,0021.$$

Из выражения  $\frac{r}{I} = 2\beta$  следует, что  $r = 2\beta I$ . Момент инерции маятника, согласно теореме Штейнера:  $I = \frac{1}{12} ml^2 + md^2 = \frac{1}{12} 1,3 \cdot 1,225^2 + 1,3 \cdot 0,38^2 = 0,350 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$  (где  $d$  – расстояние от центра масс маятника до оси вращения), тогда коэффициент сопротивления воздуха будет:  $r = 0,001365 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}}$ .

Если известны период колебаний маятника  $T$  и коэффициент затухания  $\beta$ , то можно вычислить остальные параметры затухающих колебаний: логарифмический декремент затухания  $\delta = 0,0033$ ; время релаксации  $\tau = \frac{1}{\beta} \approx 513 \text{ c}$ ; частота затухающих колебаний:

$\omega = 3,67 \text{ c}^{-1}$ ; добротность  $Q = 952$  и полное число колебаний которые сделает маятник до полной остановки (амплитуда колебаний уменьшилась в 10 раз)  $N = 0,74Q \approx 705$ .

Таким образом, в работе изучены затухающие колебания физического маятника. Предложен способ измерения амплитуды колебаний. Показано, что значительный вклад в затухание вносит сила сопротивление воздуха. Апробированы два метода определения коэффициента затухания и доказана их равнозначность. Рассчитаны коэффициент сопротивления воздуха и основные параметры затухающих колебаний.

#### Список литературы:

1. Лабораторный практикум по физике под ред. В.Н. Александрова – М.: МПГУ, 2010. – 124с.;
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2007. – 432с.;
3. Кособуцкий П.С., Лобур М.В. Моделирования коливаний протих систем: Монография. – Л.: НУ «ЛП», 2003. – 224с.;
4. Бармасов А.В., Холмогоров В.Е. Курс общей физики для природопользователей. Колебания и волны. Учебное пособие. – СПб.:БХВ-Петербург, 2009. – 256 с.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТАКТНОЙ РАЗНОСТИ ПОТЕНЦИАЛОВ МЕТОДОМ АНДЕРСЕНА Национальный технический университет «ХПИ»

Ст. А.А. Богдан

Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева,  
доц. А.Г. Лазаренко

При соприкосновении двух различных металлов между ними возникает контактная разность потенциалов (КРП), которая оказывает существенное влияние на работу и характеристики электровакуумных приборов. Целью данной работы является изучение и измерение термоэлектронным методом контактной разности потенциалов, в вакуумном диоде 2Ц2С.

## Теория

Согласно теории Зоммерфельда, металл представляет собой кристаллическую решетку, состоящую из положительных ионов, погруженную в газ свободных электронов, подчиняющихся квантовой статистике Ферми-Дирака. Металл для свободных электронов представляет собой потенциальную яму, для выхода из которой свободным электронам необходимо сообщить дополнительную энергию. Минимальная энергия  $A_{\text{вых}}$ , которую нужно сообщить электрону, для удаления его из металла, называется работой выхода.

При соприкосновении двух нейтральных металлов с разными работами выхода  $A_{\text{вых1}}$  и  $A_{\text{вых2}}$  свободные электроны в них будут переходить из металла с меньшей работой выхода в металл с большей работой, таким образом, между контактирующими металлами возникает скачок потенциала - контактная разность потенциалов  $U_{\text{сдг}}$  [1]:

$$U_{\text{сдг}} = \frac{A_{\text{вых2}} - A_{\text{вых1}}}{e}, \quad (1)$$

где  $e$  – заряд электрона.

Полученный результат справедлив для любых способов обмена электронами между двумя материалами, в том числе и путем термоэлектронной эмиссии в вакууме, через внешнюю цепь и т.д. Поэтому возникающее электрическое поле необходимо учитывать при работе электровакуумных приборов.

Если проводники подключить к источникам ЭДС, с напряжением  $U$  и предположим, что один из металлов заземлен, то разность потенциалов, существующая в пространстве между проводниками, изменится. Это происходит из-за того, что положение уровня Ферми

незаземленного металла будет смещено на величину поданного напряжения  $U$ . Поэтому истинная разность потенциалов между проводниками [2]:

$$U_{\text{ист}} = U + U_{\text{сдг}}. \quad (2)$$

## Методика измерений

Для измерения КРП широко используют различные методы. Один из них - термоэлектронный метод (метод Андерсена) основан на снятии вольт-амперной характеристики (ВАХ) вакуумного диода. Простейшая схема такого эксперимента приведена на рис. 1а.

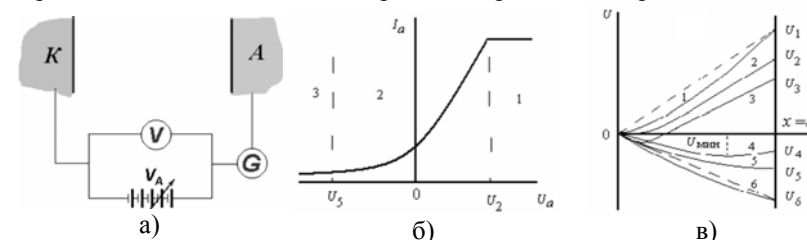


Рис. 1. а) простейшая схема для измерения ВАХ; б) теоретическая ВАХ диода; в) распределение потенциалов в плоском диоде [2 - 4].

Когда катод заземлен, а на анод подается регулируемое напряжение  $U_a$  от источника, нагретый катод испускает электроны (термоэлектронная эмиссия), которые движутся под действием электрического поля. Электроны, которые достигают анода, создают анодный ток  $I_a$ , величина которого измеряется гальванометром  $G$ . Если анод и катод представляют собой параллельные плоскости (плоский диод) и изготовлены из одинакового материала (КРП отсутствует), то зависимость  $I_a(U_a)$  при постоянной температуре катода будет иметь вид, представленный на рис. 1б. ВАХ диода можно разделить на три области: 1) область насыщения (область 1) – соответствует анодным напряжениям  $U_2 \leq U_a$  (рис. 1в), при которых все электроны, испускаемые катодом, попадают на анод. В этом режиме электрическое поле ускоряющее, и электрический потенциал монотонно возрастает от катода к аноду (кривые 1 - 2 на рис. 1в). Если катод нагрет равномерно и все электроны, испускаемые катодом, участвуют в создании тока термоэлектронной эмиссии (ток насыщения  $I_{\text{нас}}$ ), а внешнее электрическое поле не очень велико, то для чистых металлов справедлива формула Ричардсона – Дэшмана [2]:

$$I_{\text{нас}} = S D T^2 \exp\left(-\frac{A_{\text{вых}}}{kT}\right); \quad (3)$$

где  $S$  – площадь катода;  $D$  – постоянная Ричардсона, зависящая от материала катода;  $T$  – температура катода;  $k$  – постоянная Больцмана.

2) область пространственного (объемного) заряда (область 2) –  $U_5 \leq U_a \leq U_2$ . Электроны, вылетающие из нагретого катода, движутся в электрическом поле, которое является суперпозицией внешнего поля и поля, создаваемого всей совокупностью электронов (объемный заряд) находящихся между катодом и анодом. Появление пространственного заряда приводит к возникновению минимума потенциала  $U_{\min}$  на определенном расстоянии от катода (кривые 3 - 4 на рис. 1в). Между минимумом и анодом электрическое поле ускоряет электроны, а на участке катод-минимум тормозит. Поэтому анодный ток создают те электроны, которые за счет своей начальной кинетической энергии могут преодолеть тормозящее электрическое поле [4]:

$$I_a = I_{\text{нас}} \exp\left(-\frac{e|U_{\min}(U_a)|}{kT}\right); \quad (4)$$

где  $U_{\min}(U_a)$  – минимум потенциала.

3) область начального тока (область 3). Если анодное напряжение меньше  $U_5$ , то потенциал в межэлектродном пространстве монотонно спадает (кривые 5 - 6 на рис. 1в). Поэтому электрическое поле между анодом и катодом тормозит электроны, вылетевшие из катода. Анодный ток составляют электроны, которые в состоянии преодолеть тормозящее электрическое поле. Для этой области зависимость анодного тока от анодного напряжения будет [4]:

$$I_a = I_{\text{нас}} \exp\left(-\frac{e|U_a|}{kT}\right); \quad (5)$$

Снижение температуры катода уменьшает влияние пространственного заряда электронов. Вследствие чего «провисание» потенциала и глубина потенциального минимума уменьшатся, и при очень малых токах эмиссии минимумы практически исчезнут, а распределение потенциала будет линейным при всех анодных напряжениях. Поэтому на ВАХ исчезнет область 2 (рис. 2а), а переход от области 1 к 3 будет происходить при нулевом анодном напряжении.

Если потенциалы работы выхода материалов катода и анода различны, то между электродами существует контактная разность потенциалов, при наличии которой ВАХ диода смещается по оси анодного напряжения в зависимости от знака  $U_{\text{сдв}}$  (рис. 2б). При этом переход в режим насыщения происходит при анодном напряжении

$U_a = -U_{\text{крп}}$ . Анодный ток в области 3 с учетом (2) определяется формулой [5]:

$$I_a = I_{\text{нас}} \exp\left(-\frac{e|U_a + U_{\text{крп}}|}{kT}\right). \quad (6)$$

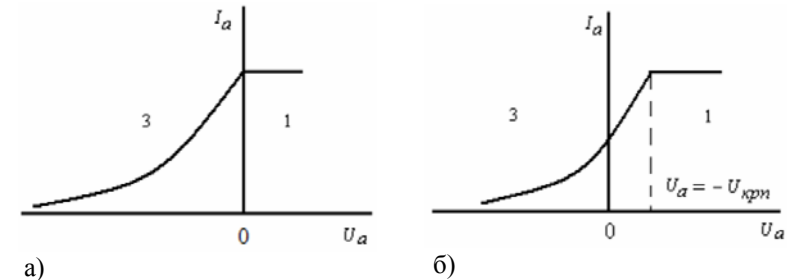


Рис. 2. Теоретическая ВАХ диода в отсутствии влияния пространственного заряда: а)  $U_{\text{крп}} = 0$ ; б)  $U_{\text{крп}} < 0$  [5].

Таким образом, если определить напряжение, при котором диод переходит в режим насыщения, то можно определить величину и знак контактной разности потенциалов.

#### Экспериментальные результаты и выводы

В работе определяется контактная разность потенциалов между катодом и анодом вакуумного цилиндрического диода 2Ц2С с косвенным накалом. Электрическая схема установки подробно описана в работе [6]. Согласно паспортным данным ток накала исследуемого диода  $I_n = 1,75$  А. Для устранения влияния объемного заряда, экспериментальные ВАХ определялись при малых значениях  $I_n$  (рис. 3а), которым соответствовали не высокие температуры катода ( $T = 400 - 500$  К).

Из рис. 3а видно, что экспериментальные ВАХ отличаются от теоретических (рис. 2) наличием плавного перехода в область насыщения. Кроме того, ток насыщения возрастает с увеличением анодного напряжения. Эти различия объясняются влиянием пространственного заряда и эффектом Шоттки – уменьшением работы выхода электронов под действием внешнего электрического поля [1, 2].

Электроды высоковольтного кенотрона 2Ц2С представляет собой два коаксиальных цилиндра. Цилиндр с меньшим радиусом – катод – подогревается расположенной внутри него проволочной нитью, через которую пропускается электрический ток (ток накала). Согласно теоретическим расчетам в области начальных токов величина



анодного тока цилиндрического диода определяется следующим выражением [4]:

$$I_a = I_{нас} \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{|U_a|}{U_T}} \exp\left(-\frac{|U_a|}{U_T}\right); \quad U_T = \frac{kT}{e}. \quad (7)$$

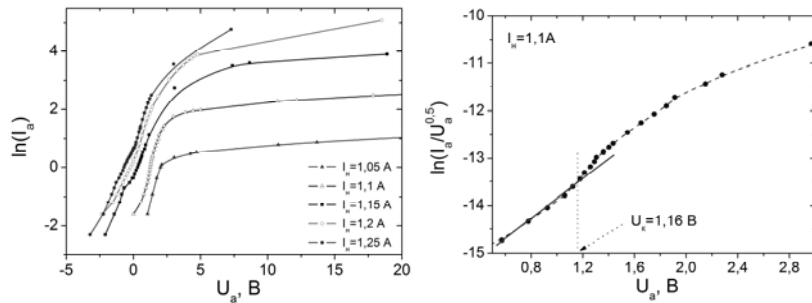
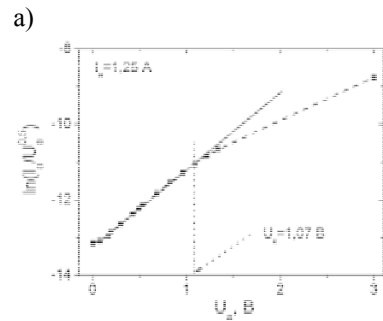


Рис.3. ВАХ цилиндрического диода 2Ц2С в логарифмическом масштабе: а) при разных  $I_n$ ; б)  $I_n = 1,1$  А; в)  $I_n = 1,25$  А.



Соотношение (7) справедливо при условиях:  $|U_a| > 3U_T$ ;  $r_a > 10r_k$  (где  $r_a$ ,  $r_k$  – радиусы анода и катода соответственно). В этом случае зависимость  $\ln\left(\frac{I_a}{\sqrt{|U_a|}}\right) = f(U_a)$  будет прямой,

тангенс угла наклона которой к оси абсцисс обратно пропорционален температуре катода. Нарушение линейности будет означать переход вакуумного диода в режим ограничения тока пространственным зарядом. В работе экспериментальные зависимости снимались при разных значениях  $I_n$  (рис. 3б, в). Далее для каждого  $I_n$  определялась верхняя граница напряжения  $U_k$  соответствующая области начальных токов (рис. 3б, в) и строился график  $U_k = f(I_n)$ , который аппроксимировался прямой линией (рис. 4а). Для устранения влияния простран-

ственного заряда [5] полученную прямую экстраполировали к  $I_n = 1$  А, при котором прекращается термоэлектронная эмиссия электронов (рис. 4б). В точке пересечения с осью ординат получили величину КРП с обратным знаком:  $U_{крп} = -1,37$  В. Погрешность измерений составила 15%.

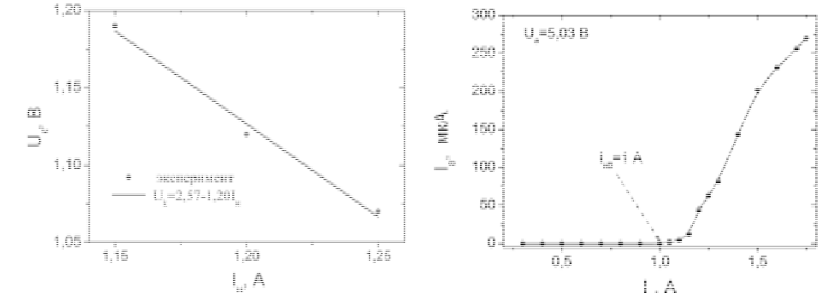


Рис.4. а) зависимость  $U_k(I_n)$ ; б) зависимость  $I_a(I_n)$  при постоянном анодном напряжении.

Согласно [4], величина контактной разности потенциалов зависит от материала электродов и состояния их поверхности. Для различных типов ламп принимает значения в пределах от -0,5 В до -3 В.

Таким образом, в работе получены и изучены ВАХ цилиндрического вакуумного диода 2Ц2С при различных значениях тока накала. Также апробирована методика определения КРП, экспериментальное значение которой согласуется с литературными данными.

#### Литература:

1. Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника / Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. – М.: Наука, 1966. – 564 с.
2. Андреев В.В. Физическая электроника и ее современные приложения: Учеб. пособие. / В.В. Андреев, А.А. Балмашнов, В.И. Корольков и др. – М.: РУДН, 2008. – 383 с.
3. Владимиров Г.Г. Физическая электроника ч.1. Термоэлектронная эмиссия Учеб. пособие. / Г.Г. Владимиров. – СПб.: СПбГУ, 2007. – 187 с.
4. Клейнер Э.Ю. Основы теории электронных ламп / Э.Ю. Клейнер. – М.: Высш.школа, 1974. – 368 с.
5. Гамаюнов Ю.Г. Практикум по физической электронике. Контактная разность потенциалов / Режим доступа: [www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2015/03/31/04\\_kontakt\\_naya\\_raznost\\_potencialov.pdf](http://www.sgu.ru/sites/default/files/textdocsfiles/2015/03/31/04_kontakt_naya_raznost_potencialov.pdf) (дата обращения 06.03.17).
6. Андреев А.Н. Исследование термоэлектронной эмиссии / А.Н. Андреев, О.Н. Андреева, П.Л. Вейцман и др. / Режим доступа: [http://web.kpi.kharkov.ua/koef/wp-content/uploads/sites/49/2016/05/APFIO\\_2016\\_theses.pdf](http://web.kpi.kharkov.ua/koef/wp-content/uploads/sites/49/2016/05/APFIO_2016_theses.pdf) (дата обращения 06.03.17).

# СОВРЕМЕННЫЕ RGB СВЕТОДИОДЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Национальный технический университет «ХПИ»

Ст. В. Пономарев

Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева,

асс. К.А. Минакова

В работе исследованы оптические и электрические характеристики современных RGB светодиодов и рассмотрена возможность их применения для изучения закономерностей внешнего фотоэффекта.

**Теория.** Светодиодный чип – это полупроводниковое оптоэлектронное устройство, излучающее свет при прохождении через него тока в прямом направлении. Длины волн излучения чипов зависят от типа полупроводника и занимают участок спектра от ультрафиолетового до инфракрасного. Светодиод – это полупроводниковый прибор, состоящий из одного или нескольких светодиодных чипов, электрических соединений, оптического покрытия и корпуса. Контактные площадки чипов, с помощью металлической проволоки, соединяются с контактными площадками корпуса, формируя путь для электрического тока. Оптическое покрытие изготавливается из высокоэластичных полимеров или стекол, которые могут содержать люминофор. Оно позволяет не только эффективнее выводит излучение из чипа, но и выполняет защитную функцию – герметизируя контакты, электрические соединения и поверхность чипа. Форма оптического покрытия формирует диаграмму направленности светодиода.

В современной светотехнике используются светодиоды белого света. Существует три способа получения белого света с помощью светодиодов. Первый – смешивание цветов по технологии RGB. На одной матрице размещаются красные, голубые и зеленые светодиоды, излучение которых смешивается с помощью линзы. Второй способ заключается в том, что на поверхность светодиода, излучающего в ультрафиолетовом диапазоне, наносится три люминофора, излучающих голубой, зеленый и красный свет (похоже на излучение люминесцентной лампы). В третьем способе желто-зеленый или зеленый и красный люминофор наносятся на голубой светодиод, так чтобы излучения смешиваясь, образовывали белый или близкий к нему свет.

Технология RGB позволяет получить не только белый цвет, но и различные цвета при изменении тока через светодиоды, кроме того, можно получать различные цветовые температуры. Поэтому RGB-

матрицы широко используются в свето-динамических системах.

**Эксперимент, результаты и выводы.** В работе исследовался RGB светодиод мощностью  $P = 30 \text{ Вт}$  и напряжением питания  $U = (30 \div 36) \text{ В}$ . Для охлаждения светодиода использовался алюминиевый радиатор с медной вставкой, на который крепился вентилятор. Место крепления светодиода к радиатору тщательно шлифовалось и покрывалось теплопроводящей пастой для обеспечения хорошего теплоотвода от всей поверхности подложки светодиода. Светодиод крепился к радиатору с помощью прижимных винтов.

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) светодиода измерялась с помощью стабилизированного источника постоянного напряжения для разных режимов работы светодиода (синий, красный, зеленый). Светодиод последовательно с амперметром подключался к источнику. Изменяя напряжение на источнике, определяли силу тока, протекающего через светодиод. Экспериментальная зависимость силы тока от приложенного напряжения для синего светодиода представлена на рис. 1а. Из рис. 1а видно, что при  $U \geq 15 \text{ В}$  ток, текущий через светодиод, резко возрастает. Это объясняется последовательным соединением чипов.

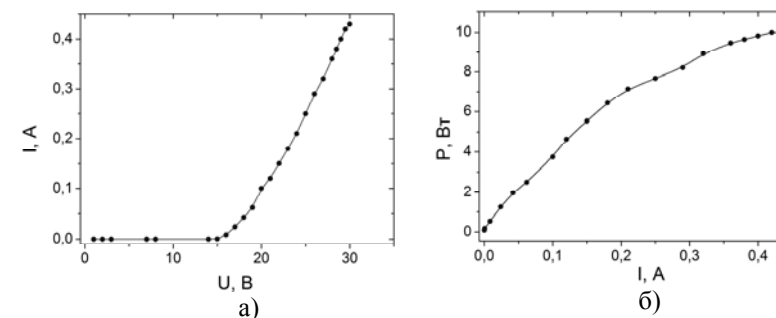


Рис.1 Характеристики синего светодиода: а) ВАХ; б) ВТАХ.

С помощью оптического измерителя мощности ИМО-2 измерялась зависимость мощности светодиода от протекающего через него тока (рис. 1б) – ватт-амперная характеристика (ВТАХ). Поскольку верхний предел измерений ИМО-2 составляет 1 Вт, то на прибор с помощью линзы фокусировалась 0,1 излучающей поверхности светодиода. Далее полученные значения умножались на 10. В результате было установлено, что максимальная мощность светодиода в «монокроматическом» режиме составляет  $P_{\max} = 10 \text{ Вт}$ , что соответствует

заявленным характеристикам. А максимально допустимый прямой ток светодиода -  $I_{\max} = 0,45 \text{ А}$ .

Исследование спектра излучения светодиода с помощью монохроматора УМ-2 показало, что ширина полосы излучения красного светодиода составляет около 50 нм (572...623 нм), зеленого – 110 нм (478...589 нм), синего – 41 нм (433...474 нм). Поэтому для определения длины волны излучения использовалась дифракционная решетка с периодом  $d = 18 \text{ мкм}$ . Фокусируя линзой излучения светодиода на дифракционную решетку, на экране, расположенном на расстоянии  $L = 300 \text{ мм}$  от решетки, определялись линейные расстояния ( $2x$ ) между главными максимумами первого порядка ( $m = 1$ ), далее выполнялся расчет длины волны:

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m} = \frac{xd}{Lm}, \quad (1)$$

где  $\sin \varphi$  - синус угла дифракции.

В ходе эксперимента было установлено, что линейные расстояния между максимумами первого порядка и длина волны излучения для исследуемого светодиода составляют: 1) синий –  $2x = 15 \text{ мм}$ ,  $\lambda = 450 \text{ нм}$ ; 2) зеленый -  $2x = 18 \text{ мм}$ ,  $\lambda = 540 \text{ нм}$ ; 3) красный -  $2x = 21 \text{ мм}$ ,  $\lambda = 630 \text{ нм}$ .

Далее, с помощью установки представленной на рис. 2а, изучалась возможность применения исследуемого светодиода для изучения закономерностей внешнего фотоэффекта. В качестве вакуумного фотоэлемента использовался Ф-5, катод которого освещался RGB светодиодом.

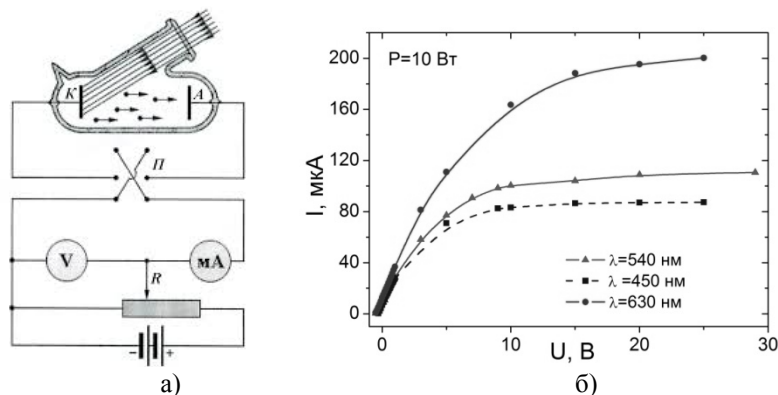


Рис. 2. а) установка для исследования внешнего фотоэффекта;

б) ВАХ фотоэлемента Ф-5 при прямом включении.

Электроны, вырванные светом из катода, попадали в электрическое поле (величина которого зависит от приложенного к лампе напряжения) созданное внешним источником. Если поле ускоряющее, то электроны направлялись к аноду, формируя анодный ток, который измерялся миллиамперметром. При увеличении напряжения анодный ток возрастает плавно (рис. 2б), что объясняется распределением фотоэлектронов по скоростям. Когда все электроны, вырванные из катода, достигают анода, наблюдается насыщение. Величина тока насыщения зависит не только от падающего светового потока (рис. 3а), но и от спектральной чувствительности фотокатода (рис. 2б). Если на катод подать положительное напряжение, а на анод – отрицательное, то электрическое поле межэлектродного пространства тормозит электроны, возвращая их на катод. Анодный ток будут составлять те электроны, которые за счет своей начальной кинетической энергии, способны преодолеть тормозящее действие электрического поля. При увеличении обратного напряжения величина анодного тока уменьшается и обращается в нуль, когда напряжение становится равным  $U_3$  (запирающее напряжение). Определив опытным путем запирающее напряжение можно вычислить работу выхода электронов из катода и анода.

Поскольку анод и катод лампы изготовлены из различных материалов, то между ними возникает контактная разность потенциалов ( $U_{\text{крп}}$ ), которая смещает ВАХ по оси абсцисс. Если  $U < U_{\text{крп}}$ , то электрическое поле тормозит фотоэлектроны и на ВАХ наблюдается монотонный рост тока при увеличении напряжения на Ф-5 (рис. 3 б). При  $U > U_{\text{крп}}$  фотоэлемент плавно переходит в режим насыщения.

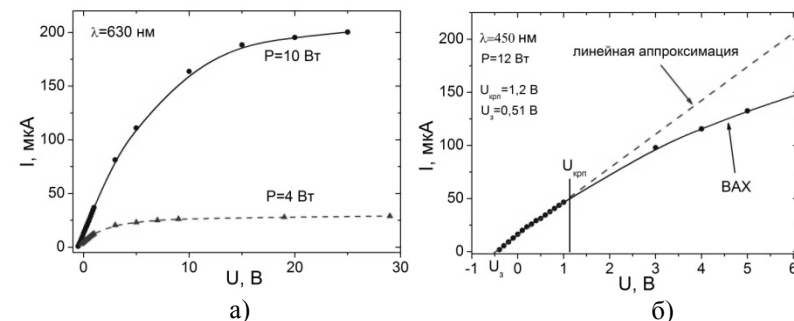


Рис. 3. ВАХ фотоэлемента: а) для разной мощности падающего излучения; б) для малых напряжений.

В области запирающего напряжения ВАХ является линейной,

что позволило определить  $U_3$  и  $U_{крп}$  с помощью линейной аппроксимации и экстраполяции полученной прямой к нулевому значению фототока. Точка пересечения с осью напряжения  $U_3$  (рис. 3б). Напряжение, при котором ВАХ фотоэлемента переходит из линейного режима в режим насыщения принималась за  $U_{крп}$ .

В общем случае фотоэлектронная эмиссия или внешний фотоэффект – это испускание электронов из вещества под действием падающего на его поверхность света. Фотоэффект является результатом трех последовательных процессов: поглощение фотона и появления электрона с высокой (по сравнению со средней) энергией, движение этого электрона к поверхности, в результате чего он может потерять часть своей энергии на столкновение с другими электронами, выход электрона наружу.

Объяснить все экспериментальные закономерности фотоэффекта удалось А. Эйнштейну, который сформулировал закон сохранения энергии для однофотонного фотоэффекта (уравнение Эйнштейна):

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{вых}^к + W_{k\max} , \quad (2)$$

где  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света в вакууме;  $A_{вых}^к$  – работа выхода электрона из металла (катода) – это минимальная энергия, которую необходимо затратить, чтобы вырвать электрон из металла;  $W_{k\max}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона после выхода из металла, которая при запирающем напряжении переходит в потенциальную энергию покоящего электрона, чуть-чуть недолетавшего до анода:

$$W_{k\max} = -eU_3 . \quad (3)$$

Соотношение (2) справедливо при условии, что катод и анод изготовлены из одного материала. Если они выполнены из различных материалов, то необходимо учитывать контактную разность потенциалов, которая возникает в промежутке анод-катод и складывается алгебраически с внешним напряжением:

$$U_{крп} = \frac{A_{вых}^а - A_{вых}^к}{e} , \quad (4)$$

где  $A_{вых}^а$  – работы выхода электрона из анода;  $e$  – заряд электрона.

В этом случае уравнение Эйнштейна с учетом (3) и (4) принимает следующий вид:

$$\frac{hc}{\lambda} = A_{вых}^к + eU_{крп} - eU_3 = A_{вых}^а - eU_3 . \quad (5)$$

Подставляя в (4) и (5) значения длины волны и запирающего напряжения для наиболее монохроматического излучения (синий свет), получаем:

$$A_{вых}^к = \frac{hc}{\lambda} / -e(|U_3| + U_{крп}) = 1,05 \text{ эВ}; \quad (6)$$

$$A_{вых}^а = A_{вых}^к + eU_{крп} = 2,25 \text{ эВ}.$$

Согласно паспортным данным, катод фотоэлемента Ф-5 является кислородно-серебряно-цезиевым, его красная граница 1200 – 1400 нм, что соответствует работе выхода 1 – 0,9 эВ.

При рассмотрении фотоэффекта, мы учитывали единичный акт взаимодействия фотона с электроном фотокатода. В действительности на катод фотоэлемента падает одновременно огромное число квантов света. При этом лишь небольшая часть фотонов передает свою энергию электронам катода так, чтобы они могли выйти из него. Остальные фотоны отражаются от поверхности фотокатода или поглощаются в катоде без эмиссии электронов. Поэтому важной характеристикой фотоэлемента является квантовый выход  $Y$  – численно равный числу электронов, которые выбивает из фотокатода один фотон:

$$Y = \frac{I_{нас} hc}{eP\lambda} , \quad (7)$$

где  $I_{нас}$  – сила тока насыщения фотоэлемента (сила тока фотоэлектронной эмиссии);  $P$  – мощность падающего излучения. Подставляем численные значения для синего света:  $I_{нас} = 86 \text{ мкА}$ ,  $P = 10 \text{ Вт}$ , получаем:  $Y = 23,7 \cdot 10^{-6}$  (электронов/квант) .

Таким образом, в ходе выполнения эксперимента были исследованы оптические и электрические характеристики RGB светодиода: ВАХ, ВТАХ, спектр и длины волн излучения. Показана возможность его использования для изучения закономерностей фотоэлектронной эмиссии и для определения основных параметров вакуумного фотоэлемента. Также освоена методика работы с измерительными приборами ИМО-2 и УМ-2.

1. Добрецов Л.Н. Эмиссионная электроника / Л.Н. Добрецов, М.В. Гомоюнова. – М.: Наука, 1966. – 564 с.

2. Поп С. Фізична електроніка / С. Поп, І. Шароді. – Л.: Євросвіт, 2001. – 250 с.

3. Виноградова К.А. Оптика светодиодов. Лабораторный практикум. / К.А. Виноградова, С.Н. Липницкая, В.Е. Бугров. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 86 с.

4. Готра З.Ю. Фізичні основи електронної техніки / З.Ю. Готра, І.Є. Лопатинський, Б.А. Лукіянець та ін. – Л.: Бескид Біт, 2004. – 880 с.

5. Фотоэлектронная эмиссия / Режим доступа: <https://mipt.ru/upload/medialibrary/325/chapter4.pdf> (дата обращения 13.03.17).

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УТЕПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ НА ТЕПЛОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ МИКРОРАЙОНА

*Харьковский национальный университет*

*им. В. Н. Каразина*

*Ст. А.В. Бурлаенко*

*Рук.: доц. А.А. Алексахин, ст. пр. Е.Б. Алмазова*

В работе рассмотрены вопросы функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов, для которых характерно наличие в микрорайонах центральных тепловых пунктов и разветвленной системы теплопроводов, к которой присоединены сооружения.

Цикл производства и потребления тепловой энергии включает потери при производстве энергии, ее транспортировке и потреблении. Большая часть потерь тепловой энергии приходится на стадию потребления. По существующим оценкам, потери теплоты при производстве и транспортировке составляют величину порядка 7 - 15%, а потери у конечного потребителя - 30 - 50%. Структура теплоснабжения инженерными системами зданий образована затратами на отопление (примерно 30% необходимой теплоты), затратами на горячее водоснабжение (более 18%) и расходами, связанными с нагревом вентиляционного воздуха. Тепловая мощность отопления определяется величиной потерь теплоты через элементы конструкции здания и величиной поступлений теплоты в помещение. Потери теплоты через ограждающие конструкции составляют потери через стены (около 40%), через окна (35%), другие (25%). Поэтому основным направлением энергосбережения в жилищно-коммунальном секторе остается применение дополнительной теплоизоляции зданий.

Большие тепловые потери через конструкции ограждений большинства существующих зданий объясняются тем, что большая часть жилого фонда построена во времена, которые характеризовались низкой стоимостью энергоносителей и требованиями удешевления строительства. Это обусловило заниженные нормативы к величине термического сопротивления ограждений и повышенные расходы теплоты на компенсацию ее потерь теплоты. Важными факторами, определяющими энергоэффективность жилищно-коммунального хозяйства, являются энергогенерирующие установки коммунальной энергетики, несовершенство существующих строительных конструкций, а также прак-

тическое отсутствие индивидуальных средств учета и систем регулирования энергопотребления. В целом непроизводительные расходы тепловой энергии достигают 30% [1]. Потребление теплоты на нужды отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха зданий превышает аналогичное потребление в США в 4,5 раза. По показателю потребления тепловой энергии на 1 м<sup>2</sup> отапливаемой площади, расход теплоты в Украине превышает аналогичный показатель в странах с похожим климатом (например, Швеция, Финляндия) в 4-6 раз. В целом же потенциал организационно-технологических мероприятий, связанных с экономией энергоресурсов в коммунально-бытовом секторе Украины, по состоянию на 2000 год оценивается примерно в 40% от затрат первичного топлива на отопление [2].

Таким образом, проблема рационального использования энергоресурсов актуальна на сегодняшний день. Основным резервом энергосбережения в строительной отрасли остается уменьшение затрат на отопление зданий путем повышения термического сопротивления конструктивных элементов ограждений. Для существующих зданий эту задачу можно решить установкой дополнительной изоляции.

Важным фактором, определяющим энергоэффективность системы теплоснабжения, есть потери теплоты в тепловых сетях. Современный уровень развития строительной отрасли предоставляет широкий выбор материалов, изделий, конструкций и технологий, позволяющих обеспечить длительную, надежную и комфортную эксплуатацию зданий и сооружений различного назначения. Номенклатура современных теплоизоляционных материалов также различна.

При централизованном теплоснабжении микрорайонов, потери теплоты в сетях, при утеплении зданий, зависят не только от длины участка, материала и толщины теплоизоляции трубопроводов, способа прокладки тепловых сетей, но и от места присоединения утепленного здания к тепловой сети.

Утепление зданий микрорайона обеспечат не только уменьшение расхода теплоты на отопление, но и уменьшения потерь теплоты в тепловых сетях микрорайона.

В нашей работе, мы исследовали влияние места присоединения утепленного здания к микрорайонной отопительной сети, учитывая потери теплоты трубопроводами тепловых сетей.

В рамках исследования мы рассмотрели следующие проблемы:

- Анализ сети трубопроводов централизованной системы теплообеспечения;
- Анализ структуры теплоснабжения в жилищно-коммунальном секторе хозяйства;

- Разработка способов утепления домов с наибольшей экономией средств и энергоресурсов;

- Оценка тепловых потерь трубопроводами отопительной сети в зависимости от удаления утепленного здания от центрального теплового пункта.

В результате исследований, было выяснено, что утепление всех зданий является лучшим вариантом экономии ресурсов, но для этого нужны сразу значительные средства. Поэтому утепление зданий микрорайона необходимо выполнять в несколько разработанных этапов, которые позволяют существенно уменьшить расходы. Следует отметить, что этот проект будет эффективным при условии наличия и функционирования централизованных систем теплоснабжения населенных пунктов, для которых характерно наличие в микрорайонах центральных тепловых пунктов (ЦТП) и разветвленной системы тепловых сетей, к которой присоединены сооружения.

В работе приведены три варианта расчетов системы теплоснабжения, для выборочного утепления микрорайона (рис. 1) с целью получения оптимального распределения порядка утепления зданий для меньших тепловых потерь, экономии ресурсов и средств. На рисунке, который является примером микрорайонного отопления, показаны группы зданий (1, 2, 3, 4) с нагрузкой на утепления 0.1 МВт, которые присоединены к общей отопительной сети. Вода из сети снабжения поступает в сеть микрорайона от ЦТП.

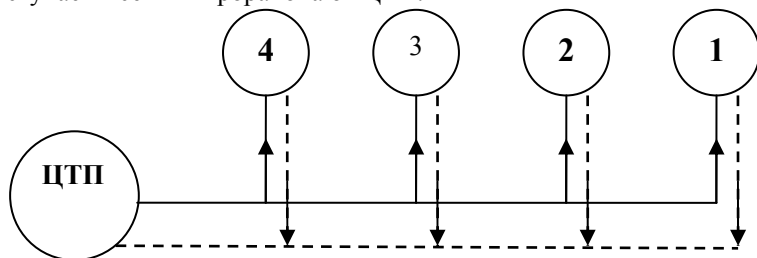


Рис.1. Расчетная схема сети.

Первый вариант расчетов - исходный, который предусматривает, что дома не имеют дополнительной теплоизоляции. Во втором варианте предполагается, что утеплены ограждающие конструкции зданий, которые являются самыми отдаленными от ЦТП. В третьем варианте - считаются утепленными ограждающие конструкции, которые являются ближайшими к ЦТП. Расчеты системы теплоснабжения осуществлены с использованием методик, изложенных в работах [3,4].

## Методика расчета:

### 1. Потери теплоносителя для отопления отдельного здания:

$$G_{зд} = \frac{Q_0}{C \cdot (T_1^p - T_2^p)}$$

$Q_0$  – расчетная отопительная нагрузка;  $Q_0 = 0.1 \text{ МВт}$  (принято);  $C$  – удельная теплоемкость воды,  $C = 4187 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$ ;  $T_1^p$ ,  $T_2^p$  – расчетные температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах сети ( $T_1^p = 150^\circ \text{C}$ ,  $T_2^p = 70^\circ \text{C}$ ).

### 2. Теплотери на участках сети (подающий трубопровод):

$$Q_{уч}^п = q_{табл}^п \cdot \frac{T^1 - t_{окр}}{90 - 5} \cdot K \cdot l_{уч}$$

$t_{окр}$  – температура окружающей среды,  $t_{окр} = 5^\circ \text{C}$ ;  $q_{табл}^п$  – граничные потери на подающем участке трубопровода (табличная величина, Вт/м);  $T^1$  – температура сетевой воды в конце подающего участка (расчетная величина,  $^\circ \text{C}$ );  $K$  – коэффициент учета тепловых потерь конструктивными элементами сети ( $K = 1.15$ , табличная величина);  $l_{уч}$  – длина участка трубопровода,  $l_{уч} = 150 \text{ м}$ .

### 3. Температура сетевой воды в конце подающего:

$$T^2 = T^1 - \frac{Q_{уч}^п}{C \cdot G_{уч}}$$

$Q_{уч}^п$  – теплотери на участках сети (подающий трубопровод);  $G_{уч}$  – потери воды на участках (табличная величина, кг/с).

### 4. Температура сетевой воды на выходе из системы отопления:

$$T_{02} = T_5 - \frac{\mu \cdot Q_0 \cdot \Delta T_c^p}{\beta}$$

$T_5$  – температура на входе в систему отопления (расчетная величина,  $^\circ \text{C}$ );  $\mu$  – коэффициент эффективности теплоизоляции (если здание утеплено  $\mu = 0.5$ , если же не утеплено  $\mu = 1$ , принято);  $Q_0$  – относительная тепловая нагрузка (табличная величина,  $Q_0 = 1$ );  $\Delta T_c^p$  – расчетная разница температур в теплосети:

$$\Delta T_c^p = T_1^p - T_2^p = 150 - 70 = 80^\circ \text{C};$$

$\beta$ - коэффициент понижения потерь на отопление (если здание утеплено  $\beta = 0.54$ , если же не утеплено  $\beta = 1.07$ , принято).

5. Потери теплоты на участке обратного трубопровода:

$$Q_{уч}^{обр} = q_{табл}^{обр} \frac{T - t_{окр}}{50 - 5} K \cdot l_{уч}$$

$q_{табл}^{обр}$  - граничные потери на обратном участке трубопровода (табличная величина, Вт/м).

6. Температура в конце участка:

а) обратного трубопровода до смешивания:

$$T_{обр}^2 = T_{обр}^1 - \frac{Q_{уч}^{обр}}{C \cdot G_{уч}}$$

$Q_{дн}^{36}$  - теплопотери на участках сети (обратный трубопровод);

б) температура после смешивания:

$$T_{обр}^2 = \frac{T_{обр}^2 \cdot G_{уч} + T_{02} \cdot G_{зд}}{G_{уч} + G_{зд}}$$

7. Теплопотери на линии подачи:

$$Q^п = Q_{1-2}^п + Q_{2-3}^п + Q_{3-4}^п + Q_{4-5}^п$$

$Q_{1-2}^п$  - теплопотери на подающем участке трубопровода (расчетная величина).

8. Теплопотери на обратной линии трубопровода:

$$Q^{обр} = Q_{1-2}^{обр} + Q_{2-3}^{обр} + Q_{3-4}^{обр} + Q_{4-5}^{обр}$$

$Q_{1-2}^{обр}$  - теплопотери на обратном участке трубопровода (расчетная величина).

9. Общие теплопотери:

$$Q_{общ} = Q^п + Q^{обр}$$

10. Потери теплоты за отопительный период:

$$Q_{тепл} = Q_{общ} \cdot \frac{85 - 5}{150 - 5} \cdot T_{отопл} \cdot 24 \cdot 3600$$

$T_{отопл}$  - продолжительность отопительного периода в городе Харьков ( $T_{отопл} = 189$  суток)

**Таблица 1. Результаты расчетов для вариантов, представленных выше**

Вариант Показатель	Вариант I	Вариант II	Вариант III
Годовые потери теплоты системой отопления, [ГДж]	928	894.45	918.42
Уменьшение тепловых потерь, [ГДж/год]	0	33.55	9.58
Уменьшение расхода теплоты в [%] (по отношению к исходному варианту)	0	3.6	1.03
Экономия, [грн/год] (тариф: 1810,64 грн/Гкал)	0	14510	4143

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

1 Утепление зданий обуславливает уменьшение расхода теплоты на отопление и уменьшение потерь теплоты трубопроводами отопительной сети.

2 Величина уменьшения потерь теплоты трубопроводами сети зависит также и от места присоединения утепленного здания к сети.

3 Наибольшее снижение потерь теплоты зафиксировано для варианта утепления самых удаленных от центрального теплового пункта сооружений.

Список литературы:

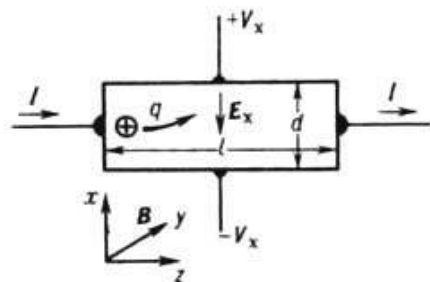
1. Маляренко В. А. Основы теплофизики будівель та енергозбереження / В.А. Маляренко. – Харків : Вид. САГА, 2006. – 484с.
2. Концепция оценки технического состояния городских инженерных систем и электрического транспорта г. Харькова [Текст] / Л.Н. Шатенко и др // Коммунальное хозяйство городов: – К.: Техніка, 2007. – Вып. 37. – с.131-134.
3. Тепловая изоляция под ред. Г.Ф.Кузнецова.– М.Стройиздат, 1995.– 437с.
4. Алексахін О. О. Теплові розрахунки мікрорайонних систем теплопостачання : ХНАМХ, 2010. – 138с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТА ХОЛЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»

Ст. А.Ю. Швец  
Рук. доц. Т.И. Храмова

Эффект Холла - один из наиболее эффективных методов изучения энергетического спектра носителей заряда в металлах и полупроводниках. Зная  $R$ , можно определить знак носителей заряда и оценить их концентрацию, что позволяет сделать заключение о количестве примесей в полупроводниках. Линейная зависимость  $R$  от  $H$  используется для измерения напряжённости магнитного поля, а также для усиления постоянных токов, в аналоговых вычислительных машинах, в измерительной технике и др. (датчик Холла).



Датчик Холла - полупроводниковый прибор, преобразующий на основе эффекта Холла индукцию внешнего магнитного поля в электрическое напряжение. Представляет собой тонкую пластинку (или плёнку) полупроводника (напр., Si, Ge, GaAs, InSb), укреплённую (напылённую) на

прочной подложке из диэлектрика (слоды, керамики, феррита), с четырьмя электродами для подведения тока и съёма ЭДС Холла ( $V_X$ ).

При помещении датчика в магнитное поле с индукцией  $B$ , направленной перпендикулярно пластине (на рис 1), на основные носители заряда действует сила Лоренца  $F = q[uB]$ , отклоняющая их к одной из граней пластины ( $q$  - заряд,  $u$  - скорость носителя заряда). При приложении магнитного поля углы между эквипотенциальными линиями (пунктирные линии на Рис. 2.1) и линиями протекания тока изменяются. Угол является функцией подвижности электронов  $\mu$  и, таким образом, функцией дрейфовой скорости электронов.

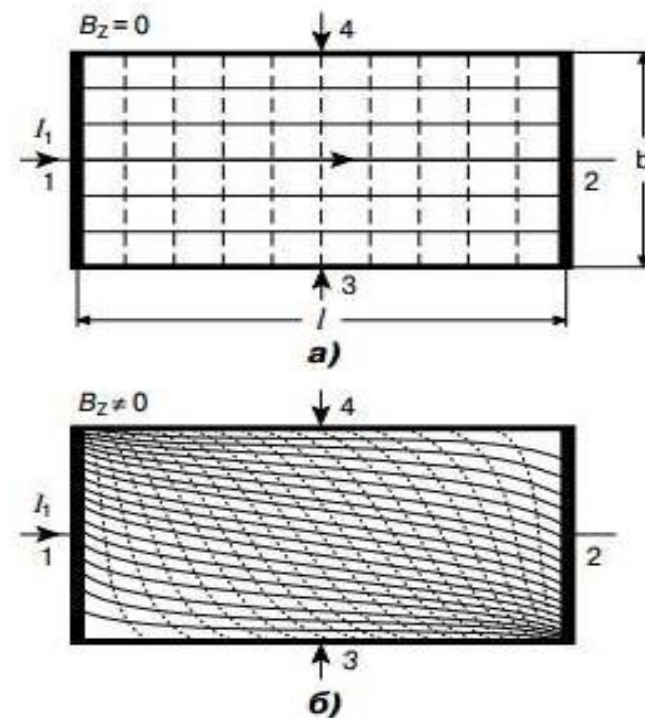


Рис. 2. Эквипотенциальные линии протекания тока:  
а) в отсутствии поперечного магнитного поля;  
б) в условиях поперечного магнитного поля.

Датчики Холла широко применяют в устройствах измерителей магнитной индукции и в аналоговых вычислительных машинах в качестве множительных элементов. Разработан ряд интегральных схем со встроенным датчиком Холла. Схемы могут быть либо с аналоговым выходом (выходной сигнал пропорционален  $B$ ), либо цифровым (при определённом  $B$  выходное напряжение скачком изменяется от минимального до максимального). На их основе созданы датчики перемещения, измерители частоты вращения, электронные компасы, бесконтактные переключатели и т. д. бесколлекторные электродвигатели постоянного тока



**ГРАФЕНЫ, ДВУМЕРНЫЕ КРИСТАЛЛЫ  
И ГИБРИДНЫЕ СИСТЕМЫ: ФИЗИЧЕСКИЕ  
ОСНОВЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРИМЕНЕНИЯ.**

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст. М.Г. Давыдова*

*Рук.: доц. И.В. Синельник, доц. В.А. Лыках,*

*инж. А.В. Синельник*

Исследования графена и других двумерных атомных кристаллов, начиная с получения графеновой пленки К. Новоселовым и А. Геймом в 2004 г., по сей день остаются в поле научного интереса ведущих исследовательских центров мира. Чем вызван интерес к данному материалу, каковы перспективы его применения в различных сферах человеческой деятельности, и в чем состоит уникальность объектов исследования с физической точки зрения? Дать точные, полные, всеохватывающие ответы на вышеизложенные вопросы, путем применения теоретического метода научного познания, а также метода системного анализа, является целью современных исследований.

В докладе представлен научный и технический обзор графена, связанных с ним двумерных кристаллов и гибридных систем, нацеленных на развитие технологий, которые могут привести к многочисленным социальным последствиям. Эта программа была разработана в рамках европейского проекта «Графен» и в общих чертах излагает основные цели и области исследований, как лучше всего было понято в начале этого амбициозного проекта. Обзор предоставляет ключевые аспекты графена и связанных с ним материалов, начиная от фундаментальных исследовательских задач и заканчивая множеством приложений в большом количестве секторов, выделяя шаги, необходимые для перехода из состояния сырьевого потенциала в точку, где они могут революционизировать целые отрасли. Это направление науки активно развивается, еще отсутствует даже устоявшаяся английская терминология, ее стандартизация только происходит.

В данной работе ограничимся следующими темами:

- 1) физические основы графенов и других двумерных кристаллов
- 2) некоторые области применения двумерных кристаллов.

**Список литературы:**

1. A. C. Ferrari, F. Bonaccorso, V. Fal'ko, et al. Science and technology roadmap for graphene, related two-dimensional crystals, and hybrid systems. Nanoscale, 2015, Volume 7, Number 11, Pages 4587–5062

**КРАСНЫЙ ЦВЕТ ЗАХОДЯЩЕГО СОЛНЦА**

*Национальный технический университет*

*«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Ю.О. Зеленская, Ю.В. Лукьяненко*

*Рук.: ст.пр. С.С. Кривонос, доц. Т.И. Храмова*

Почему заходящее солнце становится красным? Почему небо имеет голубой цвет? Оказывается, в обоих случаях причина одна – рассеяние солнечного света в земной атмосфере. Наблюдаемая картина заката солнца зависит от состояния атмосферы и определяется типом и формой облаков, подсвечиваемых лучами заходящего солнца. Поэтому один закат так не похож на другой. Прежде всего бросается в глаза красноватый цвет заходящего солнца и такой же цвет неба вблизи него. Посмотрев на заходящее за линию горизонта солнце сквозь темноватое нетрудно заметить, что цвет солнечного диска имеет разные оттенки в разных точках. У самой линии горизонта он краснее, а в верхней части диска переходит постепенно в цвет более светлых тонов. Для объяснения голубизны небосвода выдвигались различные гипотезы. Пытались объяснить голубой цвет неба как результат смешивания в определенных пропорциях «света и тьмы». В 1871г Дж. Стретт (Релей) построил теорию рассеяния световых волн на частицах, размеры которых много меньше длины световой волны. Установленный Рэлеем закон утверждает: интенсивность рассеянного света пропорциональна четвертой степени частоты света или, обратно пропорциональна четвертой степени длины световой волны. Если применить закон Рэлея к рассеянию солнечного света в земной атмосфере, то нетрудно объяснить и голубой цвет дневного неба, и красный цвет солнца при восходе и закате. Поскольку интенсивнее рассеиваются световые волны с более высокими частотами, то спектр рассеянного света будет сдвинут в сторону более высоких частот, а спектр света, остающегося в пучке будет сдвинут в обратную сторону – к более низким частотам. В первом случае белый цвет становится голубым, а во втором – красноватым. Глядя на дневное небо, наблюдатель воспринимает свет, рассеянный в атмосфере; согласно закону Рэлея, спектр этого света сдвинут в сторону более высоких частот, отсюда голубой цвет неба. Глядя на солнце, наблюдатель воспринимает свет, прошедший через атмосферу без рассеяния; спектр этого света сдвинут к низким частотам. Чем ближе солнце к линии горизонта, тем более длинный путь проходят в атмосфере световые лучи, прежде чем попадут к наблюдателю, тем в большей мере сдвигается их спектр. В результате заходящее солнце мы видим в красных тонах.

## ДЕМОНСТРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЯЧИХ ВОЛН

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: М.И. Пахнutowa, В.В. Сытник*

*Рук.: ст.пр. С.С. Кривонос, доц. Т.Н. Шелест*

Стоячая волна – явление интерференции волн, распространяющихся в противоположных направлениях, при котором перенос энергии значительно ослаблен или отсутствует. Проще говоря, стоячие волны можно представить, как суперпозицию волн, распространяющихся в противоположных направлениях – падающей и отражённой.

Стоячая волна возникает при отражении волны в результате взаимодействия (интерференции) падающей и отражённой волн. Стоячая волна может существовать только при отсутствии потерь в среде распространения и полном отражении падающей волны. В реальной же среде энергия всегда стремится к местам поглощения и излучения, а этот перенос искажает факторы, от которых зависит интерференция падающей и отражённой волн.

Примерами стоячих волн могут служить колебания струны, колебания столба воздуха в духовых инструментах и барабанах. Стоячие волны возбуждаются в любых телах способных колебаться. Даже ударив по камню молотком, мы возбуждаем в нем стоячие волны. Образование стоячих волн происходит на собственных – резонансных частотах тела, которые определяются размерами тела.

Для демонстрации стоячей волны нихромовая проволока закрепляется в стойках и устанавливается вдоль стола. Один из концов проволоки должен находиться между полюсами электромагнита. Если по проволоке пропустить через ЛАТР из сети ~ 220 В переменный ток, а по обмотке электромагнита постоянный ток от выпрямителя, то в магнитном поле на провод будет действовать сила Ампера. Частота колебаний переменного тока 50 Гц. С такой же частотой будет меняться направление силы Ампера. В результате конец проволоки начнет колебаться, и по проволоке пойдет поперечная волна. На конце проволоки произойдет отражение волны. При наложении бегущей и отраженной когерентных волн образуется стоячая волна. Положение узлов и пучностей будет хорошо видно, если проволока раскалится при пропускании тока. В местах узлов проволока неподвижна и остаётся раскалённой, а в местах пучностей из-за колебаний с большой амплитудой и скоростью она сильно охлаждается и становится темной.

## РАДИОВОЛНЫ. ТЕХНОЛОГИЯ WI-FI

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст. М.А. Сырку*

*Рук. ст.пр. С.С. Кривонос*

Существование электромагнитных волн было теоретически предсказано великим английским физиком Дж. Максвеллом в 1864 году. Максвелл проанализировал все известные к тому времени законы электродинамики и сделал попытку применить их к изменяющимся во времени электрическому и магнитному полям. Он выдвинул ряд теорий и гипотез, которые были подтверждены экспериментально. Всемирно известная технология Wi-Fi это беспроводной способ связи, основанный на всем нам знакомом электромагнитном излучении. Сигнал Wi-Fi относят к радиоволнам, соответственно, он имеет такие же свойства, характеристики и поведение. Радиоволны, в свою очередь, подчиняются практически тем же физическим законам, что и свет: распространяются в пространстве с такой же скоростью (почти 300 000 километров в секунду), подвержены дифракции, поглощению, затуханию, рассеиванию и т. д. Сфера применения радиоволн зависит от частотного диапазона. В том числе это и беспроводная связь Wi-Fi. Для нее используются дециметровые и сантиметровые волны ультравысокой и сверхвысокой частоты (УВЧ и СВЧ) в частотных диапазонах 2,4 ГГц, 5 ГГц и других редко используемых частот: 900 МГц, 3,6 ГГц, 10 ГГц, 24 ГГц. В литературе и на различных интернет-форумах можно найти большое количество отрывочных и противоречивых сведений о вреде беспроводных сетей для человеческого организма. Целым рядом организаций поднимается вопрос о том, чтобы запретить использование беспроводных сетей на территории школ и других учебных заведений. В это же время многие исследовательские институты приводят целый ряд доводов, которые опровергают мнение о том, что роутер вреден. Вложенные примеры «за» и «против», что в качестве экспериментов не только из всех уголков мира, но и примитивного, но всё же, моего эксперимента, зажимают искру раздумий. Специалисты из Швеции выяснили, что от данного вида облучения ухудшается память, мышление, даже усвоение кальция в организме ухудшается, возникает «синдром усталости». Нас постоянно окружают различные приборы, которые имеют гораздо более мощное излучение: радиоволны мобильной связи, всевозможных бытовых приборов (телевизоры, радио и так далее), промышленные и военные источники излучения и т. п., что мы и не придаем значения столь неважным, как нам кажется, мелочам. Но если разобраться в том, какие системы страдают от радиоволн, стоит задуматься, так уж ли безопасен этот хелпер-любимец.

## ПРИЧИНА ВРАЩЕНИЯ ВЕРТУШКИ КРУКСА

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. В.И. Алексеев*

*Рук.: доц. Н.Б. Фатьянова., доц. А.Я. Дульфан*

Явление происходит в радиометре Крукса. Радиометр Крукса представляет собой четырёхлопастную крыльчатку, уравновешенную на игле внутри стеклянной колбы с небольшим разрежением (см. рис.).



Лопасты радиометра представляют собой лепестки с абсолютно поглощающей и абсолютно отражающей поверхностью. Почему же происходит вращение?

Черная, поглощающая поверхность, при влиянии света, принимает импульс и кинетическую энергию фотона, а на серебристую, абсолютно отражающую, за счет отражения света давление в два раза больше. Электрический заряд фотона также равен нулю. Каждый лепесток

радиометра Крукса состоит из поглощающей с одной и отражающей поверхности с другой стороны.

Но вариант с давлением света, как причиной вращения лепестков, сразу же можно отбросить, если внутренность радиометра заполнена каким-либо газом. Рассмотрим вариант, когда в радиометре находится именно газ. Тогда, под действием ЭМ волны, на отражающую поверхность фотоны передают двойной импульс, а на поглощающую поверхность передают импульс и кинетическую энергию таким образом, что вокруг нее нагревается газ.

Как итог, при наличии газа внутри радиометра Крукса, имеем два эффекта:

- 1) Импульс на отражающую поверхность равен двойному импульсу поглощающей поверхности;
- 2) вокруг поглощающей поверхности - нагретый газ с максимальным давлением.

Куда же все таки будут вертеться лопасти радиометра? Если давление нагретого газа в радиометра настолько мало, что им можно

пренебречь, то по принципу: давление света на отражающую поверхность в два раза больше, чем давление на поглощающую поверхность. Лопасты крутятся против часовой стрелки, что в свое время доказал Лебедев.

Если же в сосуде не вакуум, а газ и давление газа больше, чем давление света, то лопасти будут вертеться по часовой стрелке. В ходе проводимых мною экспериментов, я установил, что при наличии любого газа в радиометре, давление света настолько мало, что им можно пренебречь, а вокруг поглощающей поверхности действительно создается область нагретого газа, которая и вращает лопасти радиометра Крукса по часовой стрелке.

Пользуясь уравнением Менделеева-Клапейрона для концентрации молекул, вторым законом Ньютона, принципом центростремительного ускорения для частоты вращения лопастей, выводим следующую зависимость

$$n = \frac{4\pi R^2 \Delta T}{\mu S},$$

где  $n$  – концентрация молекул,  $\mu$  – молярная масса газа,  $r$  – расстояние от стержня радиометра до центра его лопастей,  $\Delta T$  – разница температур,  $S$  – площадь лопасти радиометра.

Так как масса одной молекулы газа постоянна,  $R$  – это универсальная физическая постоянная,  $r$  – это расстояние от стержня радиометра до центра его лопастей, на выходе имеем обыкновенную квадратичную функцию.

В 2010 году исследователям Калифорнийского университета удалось создать нанорадиометр. Принцип его действия отличен от принципа радиометра Крукса. Золотая вертушка в форме свастики, всего 100 нм в диаметре была построена и освещена лазером, который был настроен так, чтобы придавать ей угловой момент. Вращающий момент вследствие этого был значительно увеличен.

### Литература:

1. Скулачев Д. П. Они были первыми. «Наука и жизнь» № 6, 2009
2. Микротоки и нанотоки: основы и моделирование (издательство «Springer», 2005)
3. <http://www.livejournal.com/>
4. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2004—2013.

## ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА У ВІЙСЬКОВІЙ ТЕХНІЦІ

*Національний технічний університет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Курс.: О.В. Навроцький, О.В. Пустовар*

*Рук.: доц. Н.Л. Дьяконенко, к.т.н. О.А. Макогон*

Освіта військових фахівців технічних спеціальностей сьогодні набуває особливої актуальності. Якісні знання фундаментальних дисциплін розвивають у курсантів загально-навчальні навички, необхідні для урахування сучасних особливостей виробництва та експлуатації військової техніки.

Викладання фізики у вищому військовому навчальному закладі тісно пов'язане зі спеціальними предметами, тому, що саме закони природи є підґрунтям дії вимірювальних пристроїв, механічних та електронних приладів. Кожен розділ фізики має приклади практичного застосування.

Термоелектричні явища, що спостерігаються між електричним струмом та потоками тепла в речовинах і контактах між ними, мають широке розповсюдження в техніці. Наприклад, термопари застосовуються для вимірювання температури, а також для прямого перетворення тепла в електрику в тих випадках, коли доцільно уникнути рухомих деталей (наприклад, у космосі). Поглинання тепла при проходженні електричного струму через контакт використовується в холодильниках тощо. Термопара являє собою металевий провід зі спеціальних сплавів, дві жили якого спаяні між собою, спай розміщений у зоні контролю температури. У сучасній військовій техніці термопару використовують як чутливий елемент (первинний вимірювальний перетворювач) у термодатчиках - засобах контролю температури у танках. Термодатчик являє собою коробчастий корпус, в якому розміщена колодка з вмонтованими в неї п'ятнадцятьма послідовно з'єднаними хромель - копелевими термопарами. Термоелектрорушійна сила ТЕРС становить близько 4,1мВ при температурному перепаді 100К. "Холодні" спаї термопари розміщені в корпусі датчика і залиті термостійким компаундом, "гарячі" спаї виведені назовні. Вільні кінці проводу виведені за межі нагрівальної зони та з'єднані з приладом, що показує перетворений сигнал одержаний від спаю термопари.

Наводяться також інші приклади застосування фундаментальних законів фізики у військовій техніці.

## ДЕМОНСТРАЦИЯ МАГНИТОСТАТИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: А. Лысков, В. Ласкин*

*Рук.: ст. пр. Ю.И. Веретенникова, асс. К.А. Минакова*

Магнитная защита – это локализация магнитного поля внутри или вне замкнутого объема путем замыкания силовых линий магнитного поля в толще материала экрана. Принцип действия экрана основан на том, что магнитная проницаемость ферромагнитного экрана  $\mu_{\text{экран}} \gg \mu_{\text{воздух}}$ , и силовые линии магнитного поля стремятся пройти через вещество с большей проницаемостью, меняя свое направление и «сгущаясь» в экране. Известно, что на границе раздела двух сред при переходе в область с большей  $\mu$  силовые линии магнитного поля отклоняются от нормали к поверхности согласно условию [1]:

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_2}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

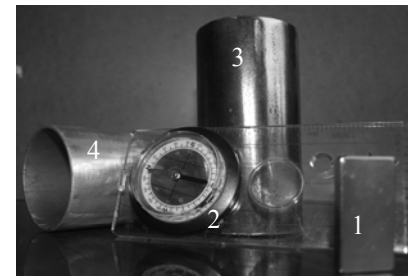


Рис.1 Оборудование для демонстрации эффекта

Для демонстрации установить магнит (1) вертикально на поверхности стола. На уровне верхнего полюса расположить магнитную стрелку (2) и, двигая ее к магниту, добиться ее отклонения на угол 60-80° от начального положения. Далее с помощью держателя (на рис. не показан) поместить магнит вертикально в отрезок железной трубы (3) до полного скрытия магнита и убедиться, что стрелка при этом возвращается в исходное положение. При снятии трубы магнитная стрелка снова отклоняется к магниту соответствующим полюсом. Выполнить опыт с отрезком алюминиевой трубы (4) и убедиться, что экранирование не происходит и стрелка «реагирует» на магнит, т.е. алюминий ( $\mu > 1$ ) не обладает свойством защищать от постоянных магнитных полей. Варьируя толщину стенок экрана, можно следить за изменением величины остаточного магнитного потока, создаваемого магнитом вне экрана.

[1] Детлаф А.А., Яворский Б.М., Милковская Л.Б. Курс физики. Т.2. Электричество и магнетизм, М.:Высшая Школа, 1977.

## ТОРОИДАЛЬНЫЕ ВИХРИ

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст.: А.В. Хацинская, И.С. Тимошенко, Р.Е. Деменко*

*Рук. ст. пр. И.В. Галушак*

Тороидальный вихрь (также вихревое кольцо) — явление, при котором область вращающейся жидкости или газа перемещается через ту же самую или другую область жидкости или газа, когда картина течения принимает форму тороида(бублика). Примером этого явления также может служить кольцо сигаретного дыма, выпускаемое курильщиком.

Вихревые кольца были впервые математически проанализированы немецким физиком Германом фон Гельмгольцем в его статье «Об интегралах гидродинамических уравнений, которые выражают вихревые движения»

Эффект вихревого кольца существует при полете на вертолете, то есть поток воздуха, который движется вниз через винт, заворачивается наружу, потом поднимается вверх, засасывается внутрь и снова идёт вниз через винт. Эта рециркуляция потока может свести к нет большую часть подъёмной силы и привести к катастрофической потере высоты. Так же вихревые кольца есть в левом желудочке сердца, с помощью опытов можем увидеть кольца как в воде так и в воздухе.

Если проводить опыт в воде, то надо развести в маленькой баночке марганцовку, доведя раствор до темно-фиолетового цвета. Потом взять стеклянную банку и наполнить ее водой, затем набрать пипеткой раствор марганцовки и капать в банку. Капля, упав в воду, превращается в кольцо правильной формы, которое, опускаясь в глубину банки, постепенно увеличивается в размере. Когда капля упала в воду, она, встретив большое сопротивление, расплющилась. При движении дальше, вглубь, края у расплющенной капли вследствие трения о воду заворачиваются. Получается вихревое кольцо в виде баранки, вращающейся вокруг своей кольцевой оси.

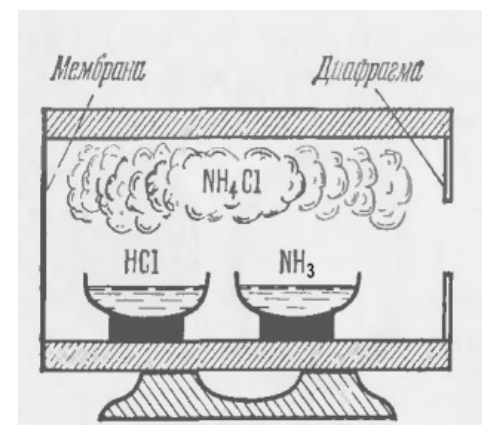
Если проводить опыт в воздухе, то классический способ образования вихревых колец состоит в следующем: в верхней крышке коробки с эластичным дном делается отверстие, диаметр которого меньше, чем размеры коробки. К отверстию могут прикрепляться насадки в виде сопел различной формы. Коробка наполняется дымом. Если теперь ударить по эластичному дну, из отверстия вылетает порция дыма. Таким образом получают вихревые кольца, радиус которых порядка 10—20 сантиметров и скорость — около 10—15 метров в секунду, в зави-

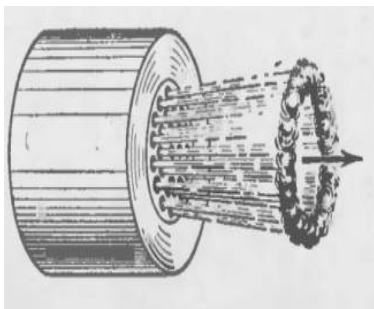
симости от диаметра отверстия и силы удара. В упрощенном виде физика вихрей выглядит следующим образом: проходя через выходную диафрагму, воздушный поток по краям тормозится и закручивается за счет эффекта Коандэ, образуя тороидальный вихрь («бублик»). Если посмотреть на срез такого вихря вдоль оси его движения, то видно, что внутри бублика воздух вращается, и именно это вращение в соответствии с законом Бернулли понижает давление в теле «бублика»

и стабилизирует форму вихря. А вперед вихрь движется за счет сил

трения с неподвижным окружающим воздухом на внешней стороне

«бублика».





Аппарат Тэта – прямоугольный ящик 75х41 см, один торец которого (мембрана) затянут упругим материалом, в другом имеется круглое отверстие (диафрагма). Ящик заполнен дымом.

Ударяя по мембране, мы сообщаем некоторую скорость прилегающему к мембране слою дыма. Придя в движение, этот слой вызовет уплотнение соседнего слоя, тот – следующего и так далее. Когда уплотнение дойдет до диафрагмы, дым вырвется из отверстия, приведет в движение ранее покоившийся воздух и благодаря силам вязкого трения сам закрутится в дымовое (вихревое) кольцо.

## КАПЛИ ДОЛГОЖИТЕЛИ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: И.С. Шкредов, А.В. Оса*

*Рук. ст.пр. С.С Кривонос*

Эффект Лейденфроста – это явление долгоживущих капель, которое является проявлением поверхностного или пленочного кипения. Данный феномен назван в честь Иоганна Готлоба Лейденфроста, который затронул данную проблему в «Трактате о некоторых свойствах обыкновенной воды» в 1756 году.

Что он собой представляет? Капля жидкости, попавшая на горячую металлическую поверхность, образует шарики, которые скользят по поверхности не испаряясь. Из-за разницы температур создается слой пара, обеспечивающий «эффект левитации». Паровая подушка выступает в качестве изолирующего слоя, благодаря чему жидкость не испаряется мгновенно. Температуру, при которой начинает работать эффект – «точка Лейденфроста», непросто предсказать заранее. Точка Лейденфроста указывает начало устойчивого парообразования с появлением плёнки газа вокруг жидкости. Даже если объём жидкости остаётся постоянным, она может меняться в сложной зависимости от свойств поверхности, а также примесей в жидкости.

Некоторые исследования всё же проводились на теоретической модели системы, что, однако, оказалось весьма затруднительным. Одна из довольно грубых оценок даёт значение точки Лейденфроста для воды 193°C. Данный феномен ярко выражен на ребристой металлической поверхности, что дает представление об физическом действии эффекта Лейденфроста. Капля подходит к ребру, поток пара под ней поднимает ее и толкает вперед, даже если поверхность слегка наклонена. Было замечено, что чем острее зубцы, тем больший угол наклона могут преодолевать капли. Однако, при очень высокой температуре капли поднимаются в воздух и при этом они практически не могут преодолевать крутые подъемы, самые большие углы они преодолевают при более низких температурах.

Еще одним немаловажным открытием было странное поведение движения капель в зависимости от нагрева поверхности: при температуре выше точки Лейденфроста капли отклонялись влево, а ниже – вправо.

## НЕЙТРИНО – САМАЯ ЗАГАДОЧНАЯ ИЗ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. А.Бойченко*

*Рук.: доц. И.В.Синельник, инж.С.М.Колубаева*

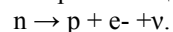
Нейтрино является самой загадочной из известных частиц. Это поистине частица-невидимка, известна своим слабым взаимодействием с веществом. Нейтрино не участвует в двух самых интенсивных фундаментальных взаимодействиях – сильном и электромагнитном, с помощью которых обнаруживают все остальные частицы. Нейтрино можно обнаружить только по его участию в слабом взаимодействии (гравитационные силы для него ничтожны).

Целью настоящей работы было систематизировать известные факты о нейтрино, экспериментальные данные и теории.

В 1914 Д.Чедвик обнаружил, что энергии электронов, испускаемых при  $\beta$ -распаде атомных ядер (в отличие от  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов), не строго определенные, а лежат в широком диапазоне значений. Было выяснено, что при  $\beta$ -распаде электроны имеют непрерывный энергетический спектр в некотором диапазоне. При этом энергия была меньше той, какую они должны были иметь в соответствии с законами сохранения. Создавалось впечатление, что энергия куда-то исчезает, то есть происходит нарушение закона сохранения энергии.

В 1930 В.Паули предположил, что при  $\beta$ -распаде одновременно с электроном рождается какая-то частица с полужелым спином и очень малой массой, которая и уносит недостающую часть энергии. Однако экспериментально обнаружить эту частицу оказалось очень сложной задачей: дело в том, что она должна была очень слабо взаимодействовать с веществом.

Через некоторое время Э. Ферми предложил называть частицу, охарактеризованную Паули, «нейтрино» (т.е. «нейтрончик»), по аналогии с тяжелой нейтральной частицей – нейтроном. Он представил процесс ядерного  $\beta$ -распада как распад одного из нейтронов ядра на три частицы – протон, электрон и нейтрино:



Эксперименты свидетельствовали лишь об образовании нейтрино в точке распада и доказывали выполнение законов сохранения при возможном существовании нейтрино. Лишь спустя 23 года после

предположения Паули Ф.Райнесу и К.Коэну удалось запечатлеть результаты взаимодействия нейтрино, используя ядерный реактор деления в качестве источника частиц, а хорошо экранированный сцинтилляционный детектор – в качестве детектора. В 1953 ученые впервые попытались продемонстрировать существование нейтрино, до тех пор считавшейся чисто гипотетической частицей. Учитывая ее «призрачные» свойства, эксперимент был назван «Проект Полтергейст». Сложность этой задачи объяснялась колоссальной проникающей способностью, которая ожидалась для нейтрино. Эта частица может пересечь неимоверно толстый слой вещества, не «заметив» его. Поэтому нейтрино трудно обнаружить. Но всё же можно. Возможности регистрации нейтрино возрастают при увеличении мощности источников самих этих частиц.

Всего существуют три типа нейтрино (и, возможно, три типа отвечающих им античастиц): электронное нейтрино (исторически первый открытый тип нейтрино), мюонное нейтрино и тау-нейтрино. Вместе с электроном, мюоном и таоном они образуют шесть лептонов — класс бесструктурных элементарных частиц.

Нейтринные осцилляции были теоретически предсказаны еще в 1957 году. Выдающийся физик Бруно Понтекорво предсказал, что нейтрино разных типов могут переходить друг в друга, то есть осциллировать. Однако существование осцилляций возможно только в том случае, если эти частицы имеют массу, а с момента их открытия, физики считали, что нейтрино – безмассовые частицы. В 2015 году японец Такааки Кадзита и канадец Артур Макдональд получили Нобелевскую премию «за открытие нейтринных осцилляций, показывающих, что нейтрино имеют массу». По предположениям движущиеся с околосветовыми скоростями нейтрино составляют существенную часть темной материи.

Естественными источниками нейтрино являются: реликтовые нейтрино; ядерные реакции в недрах звезд; космическими лучами при их взаимодействии с космическими объектами или в атмосфере Земли.

В нейтринной физике совершаются регулярно новые открытия, запускаются новые экспериментальные установки — детекторы атмосферных, космических, реакторных, ускорительных нейтрино, а тысячи теоретиков пытаются найти в измеренных параметрах нейтрино намеки на Новую физику, которая полностью изменит представление об устройстве нашего мира в целом.

## ДОСЛІДЖЕННЯ КАРЛИКОВОЇ ПЛАНЕТИ ЦЕРЕРА ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО АПАРАТУ “DAWN”

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст. А.О. Ткаченко*

*Кер.: доц. Н.Б. Фат'янова, доц. Г.Я. Дульфан*

**Актуальність мого дослідження** полягає у вивченні фізичних властивостей однієї з найбільших карликових планет головного поясу астероїдів, що дасть змогу краще вивчити ранні етапи формування Сонячної системи. Дослідження Церери і Вести дозволить зрозуміти ранні стадії формування поясу астероїдів та процеси еволюції Сонячної системи. Такі тіла називають будівельними блоками, з яких сформувалися Венера, Земля і Марс: тіла на кшталт Вести в значній мірі сприяли формуванню ядра Землі, а завдяки тілам на зразок Церери на Землі, можливо, з'явилася вода.

**Мета роботи:** дослідити фізичні властивості карликової планети Церера; обчислити можливі швидкості зіткнень метеоритних тіл з поверхнею карликової планети, порівняти значення зі значеннями швидкостей зіткнень метеоритних тіл з астероїдом 4 Веста та обчислити висоту гір на Церері.

**Об'єктом** мого дослідження стала карликова планета Церера.

**Предметом** стало дослідження рельєфу Церери за даними місії “Dawn” та оцінка швидкостей зіткнень метеоритних тіл з поверхнею карликової планети Церера.

Працюючи над цією роботою, я взяла собі за мету зробити хоча б невеликий внесок у справу популяризації астрономічних знань серед студентів. Бо історія спостережень та досліджень астероїдів – це історія розвитку астрономічних досліджень Сонячної системи.

У вересні 2015 року АКС “Dawn” прислала фотографії однієї з найбільших гір у поясі. Вчені назвали її «Самотня гора», бо на Церері настільки висока гора тільки одна та навколо неї немає майже ніяких визначних об'єктів. «Ця гора є одним з найвищих елементів, які нам вдалося розгледіти на Церері на сьогоднішній день», - говорить Пол Шенк, геолог з Х'юстонського інституту по дослідженню планет і супутників, член наукової групи місії “Dawn”.

Тому однією з головних задач була оцінка складу поверхні гори та порівняльний аналіз карликової планети Церера та астероїда 4 Веста.

Робота базується на двох теоретичних розділах та одному практичному розділі.

В ході виконання роботи отримані наступні основні результати:

- за результатами космічної місії “Dawn” виконано аналітичний огляд загальних фізичних властивостей карликової планети Церера;
- виконано аналітичний огляд джерел стосовно місії;
- за зображеннями, переданими космічною місією “Dawn”, визначено розміри кратерів Оккатор та кратера діаметром 60 км на поверхні Церери;

- виходячи з оцінок розмірів кратерів, виконано розрахунки для можливих швидкостей зіткнення метеоритних тіл з поверхнею Церери;

- виходячи з оцінок висоти гори для різних осадових порід: *трахітів; пемзи та туфу; льоду та мерзлих ґрунтів; базальтів та перлітів*, можна сказати що гора The Lonely Mountain («Самотня гора») може складатися з речовини, подібної за властивостями до пемзи, туфу або трахітів;

- було проаналізовано багато джерел інформації та проведена вибіркова порівняльна характеристика карликової планети Церера та астероїда 4 Веста.

Можна сказати, що гора утворилася внаслідок виверження вулкану на Церері, бо пемза, туф та трахіти утворюються тільки в цьому випадку. Але гора ніяк не може складатися з льоду, як сама Церера, бо оцінки висоти показали, що тоді гора має бути як мінімум вдвічі вищою від її видимої висоти в 6 км, або процес гороутворення відбувся не повністю і припинився на проміжному етапі.



## СЕКЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ ТА ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІНИ БІОМЕХАНІКА В МЕЖАХ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З ФІЗИЧНОЇ КУЛЬТУРИ ТА СПОРТУ

*Харківська державна академія фізичної культури*

*Ст. Л.Л. Скидан*

*Кер.: проф. В.С. Ашанін, ст. викл. Ю.І. Петренко*

Біомеханіка як навчальна дисципліна вивчає рухи людини у процесі виконання фізичних вправ.

Розуміння фізичної сутності рухів людини і складності управління ними особливо важливе для фахівців з фізичного виховання та спорту. Використання основних понять про рух, простір і час, законів механіки дозволяє професійно застосувати і вдосконалити методи навчання фізичним вправам та підвищувати ефективність їх впливу.

**Мета:** розробка електронних засобів для підвищення теоретичних знань та практичних умінь на прикладі дисципліни біомеханіка.

#### **Завдання дослідження:**

1. Проаналізувати практичний досвід використання у ВНЗ фізичної культури сучасних інформаційних технологій при підготовці фахівців з дисципліни біомеханіка.
2. Розробити комп'ютерний лабораторний практикум з дисципліни біомеханіка.

**Об'єкт дослідження:** процес професійної підготовки фахівців з фізичної культури і спорту в системі вищої освіти.

**Предмет дослідження:** інформаційні технології при підготовці фахівців з фізичної культури та спорту.

**Матеріали і методи дослідження:** аналіз науково-методичної літератури, педагогічне спостереження, комп'ютерне програмування.

#### **Результати дослідження.**

Аналіз та узагальнення навчально-методичної літератури вказують на те, що у вищих навчальних закладах фізичної культури проводяться активні дослідження та розробки інноваційних методик навчання, які спираються на комплексне використання комп'ютерних

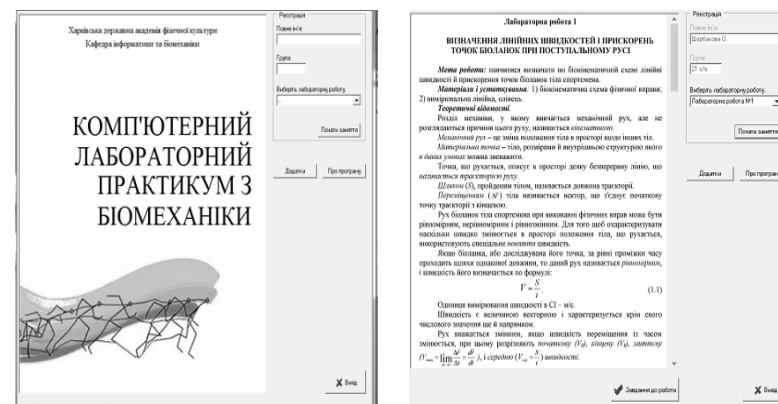
засобів та біомеханічних методів (В.С. Ашанін, О.В. Басенко, С.В. Гаркуша, Н.П. Батєєва, В.В. Романенко та ін.) [1,2,3,4,5].

Вивчаючи рухові дії людини, біомеханіка як наука, допомагає зрозуміти закономірності, що покладені в основу різноманітних способів руху.

Актуальність проблеми полягає в тому, що володіючи необхідними знаннями та розумінням інтеграції рухових процесів під час їх виконання як вчитель так і тренер на більш якісному рівні зможе вирішувати завдання навчально-тренувального процесу.

З метою підвищення рівня засвоєння біомеханічних знань при підготовці фахівців з фізичної культури та спорту створено комп'ютерний лабораторний практикум з дисципліни біомеханіка.

Даний практикум розроблено у середовищі Borland Delphi 7 за допомогою засобів мови програмування Pascal. Спочатку було створено головне меню, у якому відображено форму реєстрації користувачів та список лабораторних робіт (рис. 1-а).



1-а

1-б

Рис. 1. Вікна комп'ютерного лабораторного практикуму з біомеханіки:  
1-а – головне вікно лабораторного практикуму;  
1-б – вікно з теоретичними відомостями лабораторної роботи

Після вибору лабораторної роботи на головному екрані програми з'являються теоретичні відомості щодо обраної роботи. Поле «реєстрація» повинно бути заповнено ще до початку роботи (рис. 1-б).

Далі, при натисканні на кнопку «Завдання до роботи», з'являється вікно, у якому відображені електронні таблиці (рис.2.) та

графічні елементи до обраної роботи. При обробці цих даних користувач самостійно проводить розрахунки та заносить дані у таблиці. Далі, після натискання кнопки «Зберегти дані», внесену інформацію обробляє комп'ютер і пересилає отримані дані до графіку, який візуально відтворює результати розрахунків, зроблених користувачем у таблиці. Для реалізації графічної частини використовувались програмні методи, класи та процедури Pascal, такі як «Canvas» та «StringGrid».

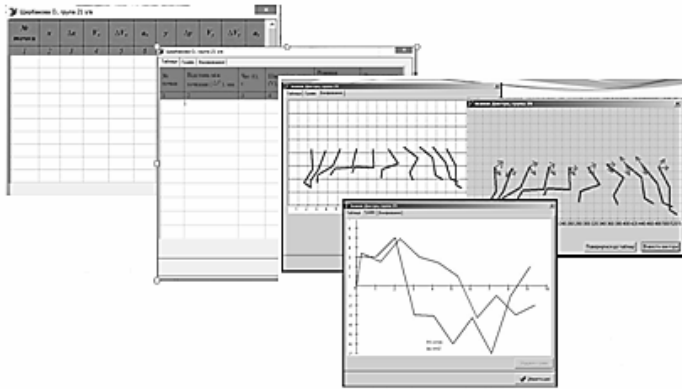


Рис. 2. Вікна робочих таблиць до лабораторних робіт та з графічною частиною виконаних робіт

Так як підрахунок усіх введених даних у програмі робиться автоматично, користувачу достатньо лише прорахувати та занести ці дані і перейти у вікно з таблицею на вкладку «Графік», де програма сама будує систему координат та з'єднає на ній точки лініями різного кольору, залежно від інформації яку треба представити (рис. 2).

Після введення даних та їх обробки, користувач зберігає виконану лабораторну роботу за допомогою кнопки «Зберегти дані». При натисканні на неї програма запропонує самостійно обрати шлях для зберігання на жорсткому диску або переносному носії (рис. 3). У збереженому файлі зберігаються наступні дані: розрахунки, введені до таблиці, графік функцій, збудований програмою, ім'я користувача та номер його групи. Таким чином студенти, які по будь-яким причинам не відвідують заняття можуть самостійно виконувати пропущені лабораторні роботи та зберігати їх на електронних носіях.

Важливим для контролю самопідготовки є також наявність тестів (рис. 4.), які розподілені по основним темам дисципліни біомеха-

ніка. Студенти можуть самостійно розібрати питання та підготуватися до іспиту.

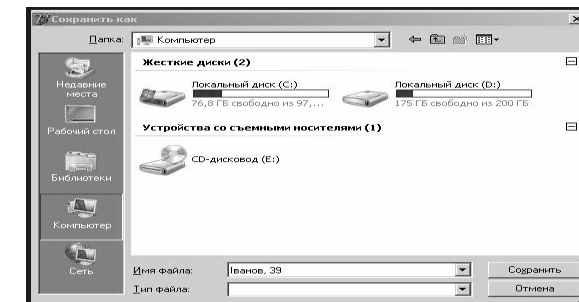


Рис. 3. Можливості збереження файлів виконаних лабораторних робіт.

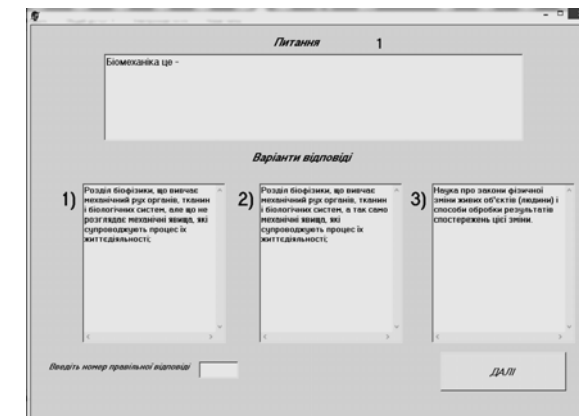


Рис. 4. Вікно з контролюючою частиною практикуму з біомеханіки.

Можна сказати, що комп'ютерний лабораторний практикум з біомеханіки містить елементи експертної системи, тому що частково здатний замінити спеціаліста у галузі біомеханіки. Кожна лабораторна робота містить близько 500 рядків програмного коду, має власний графічний інтерфейс та складну внутрішню систему формул програмування для обчислювання даних і їх відтворення у графічному режимі.

**Перспективи подальших досліджень:** полягає у розробці біомеханічного комп'ютерного навчально-методичного комплексу з можливістю моделювання рухів людини.

**Висновки:**

1. Використання інформаційних технологій при підготовці фахівців з фізичної культури та спорту значно підвищить здатність студентів до формування біомеханічного мислення та рівня якості навчання.

2. Практичне засвоєння студентами навчального матеріалу з дисципліни біомеханіка з використанням комп'ютерного лабораторного практикуму передбачає, що отримані знання нададуть можливість навчати рухам із застосуванням основних біомеханічних положень, поліпшувати рухові програми, сприяти збереженню здоров'я та створення умов безпеки у процесі занять фізичною культурою в школі, при виконанні спортивно-тренерської роботи та фізичній реабілітації хворих і спортсменів.

1. Ашанин В.С. Использование компьютерных технологий при оценке сенсомоторных реакций в единоборствах / В.С. Ашанин, В.В. Романенко // Слобожанський науково-спортивний вісник. – Харків : ХДАФК, 2015. – № 4(48). – С. 15–18.

2. Ашанин В.С. Теоретические основы моделирования в биомеханике: учеб. пособие / В.С. Ашанин, Е.В. Басенко, Ю.И. Петренко. – Х. : ХГАФК, 2011. – 124 с.

3. Батєєва Н.П. Методика біомеханічного аналізу хореографічних рухів (на прикладі «гранд батман жете») // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – 2015. – №4. – С. 3–9.

4. Гаркуша С.В. Розробка та застосування електронних навчальних посібників у професійній підготовці майбутніх фахівців з фізичного виховання/ С.В. Гаркуша// Вісн. Черніг. нац. пед. ун-ту. – Вип. 91. Сер. «Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт», том II. – Чернігів: Черніг. нац. пед. ун-ту ім. Т.Г. Шевченка, 2011. – С. 17–20.

5. Петренко Ю.І. Важливість викладання курсу біомеханіка при підготовці фахівців з фізичної культури і спорту /Ю.І. Петренко, В.С. Ашанин// Фізична культура, спорт та здоров'я: стан і перспективи в умовах сучасного українського державотворення в контексті 25-річчя Незалежності України: матеріали XVI Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 8–9 грудня 2016 р.) [Електронний ресурс]. – Харків : ХДАФК, 2016. – С. 318–321.

## МАГНИТНЫЕ ЖИДКОСТИ. ФРАКТАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТИ

*Харьковский национальный университет*

*им. В. Н. Каразина*

*Ст. О.В. Чечеленко*

*Рук.: проф. О.В. Лазоренко, доц. Е.М. Савченко*

Магнитными жидкостями называются мелкодисперсные коллоиды ферромагнетиков, стабилизированные в соответствующей жидкости-носителе. Магнитные жидкости находят применение в инженерных устройствах при разработке импульсной передачи с использованием магнитно-жидкостных муфт сцепления; в качестве герметизаторов в сложных узлах станков и машин; в новых технологиях магнитной сепарации руд. Рассматриваются также варианты применения магнитных жидкостей в медицине.

Необычным является поведение магнитной жидкости в магнитном поле. В сильном магнитном поле такая жидкость может изменить цвет; магнитные жидкости обладают «памятью»; постоянный магнит в них плавают (не тонет); наблюдаются также необычные акустические и другие эффекты.

Удивительным является поведение поверхности магнитной жидкости в сильном магнитном поле. Если линии магнитной индукции внешнего поля направлены перпендикулярно по отношению к поверхности, наблюдается магнитостатический эффект, когда на поверхности жидкости возникают игольчатые структуры (рис. 1) [1]. Такое поведение поверхности, противоречащее обычным представлениям о поверхностном натяжении, объясняется увеличением давления в области сильного магнитного поля.

Для описания таких поверхностей использование идеальных объектов геометрии Эвклида проблематично. Более оправданным представляется использование методов фрактальной геометрии, фрактального анализа.

Термин «фрактал» происходит от латинского «fractus» – дробный, раздробленный, ломаный [2, 3]. Фракталы обладают особенностью масштабирования, которая заключается в повторении частью объекта особенностей целого (самоподобие). Размерность таких фрактальных объектов оказывается дробной.

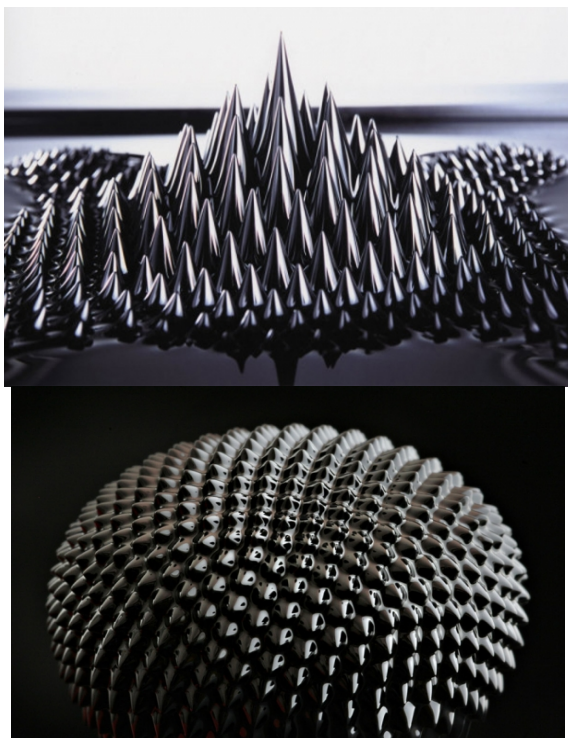


Рис. 1.

В данной работе установлено, что поверхность исследуемой магнитной жидкости имеет фрактальную структуру. Показано, что возникающая структура относится к классу физических фракталов, которые несколько отличаются по своим свойствам и характеристикам от математических фракталов, ставших уже, в известной мере, классическими. Произведена оценка кластерной размерности поверхности магнитной жидкости как одной из существующих фрактальных размерностей.

Литература:

1. [http://class-fizika.narod.ru/8\\_m15.htm](http://class-fizika.narod.ru/8_m15.htm),
2. <http://www.festivalnauki.ru/statya/14668i>
3. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
4. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

## ПРИСТРІЙ ДІАГНОСТИКИ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ КОТУШОК ІНДУКТИВНОСТІ

*Вінницький технічний коледж*

*Ст. О.О. Федорішін*

*Кер. доц. С. М. Цирульник*

У пристрої для діагностики коротко замкнутих витків електро-технічних пристроїв використовується ефект «дзвону», тобто, оцінюється тривалість перехідного процесу на катушці індуктивності. Для цього в середині схеми пристрою паралельно обмотці індуктивного елемента, що перевіряється, підключається конденсатор ємністю 0,1 мкФ. На індуктивність подається короткий імпульс і рахується кількість періодів згасаючих коливань виникає на контурі з LC. Якщо є короткозамкнутий виток, то коливання продовжують-тимуться не більше трьох періодів. При справній катушці контур «продзвонить» 10 і більше разів [1]. Період проходження тестових імпульсів обирається близько 6,6 мс. Кількість періодів коливань, що виникають в результаті тестування, підраховується мікроконтролером. Тривалість періоду коливань перехідного процесу не повинна бути менше 0,3-0,4 мксек.

Для формування імпульсів використовується таймер/лічильник

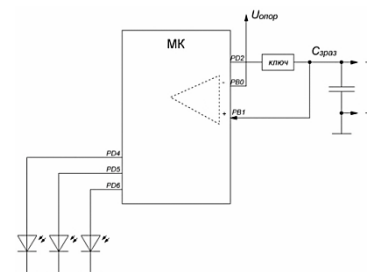


Рис.1 – Функціональна схема пристрою для діагностики короткозамкнутих витків котушок індуктивності.

мікроконтролера АТtiny2313. Для підрахунку кількості періодів коливань на контурі використовується аналоговий компаратор мікроконтролера (рис. 1). Для індикації результатів діагностики використовуються 3 світлодіоди: несправний – коливання продовжувались не більше трьох періодів; справний - коливання продовжувались 10 і більше разів; невизначений – коливання продовжуються менше 10 і більше трьох періодів.

Для формування потужного імпульсу подається сигнал на транзистор VT2 (рис. 2), який має в навантаженні частотно-компенсований дільник R5, R6, C6, який в свою чергу керує польовим транзистором VT3, що формує потужний імпульс. Для швидкого скидання імпульсу використовується «розрядний» транзистор VT1 [3].

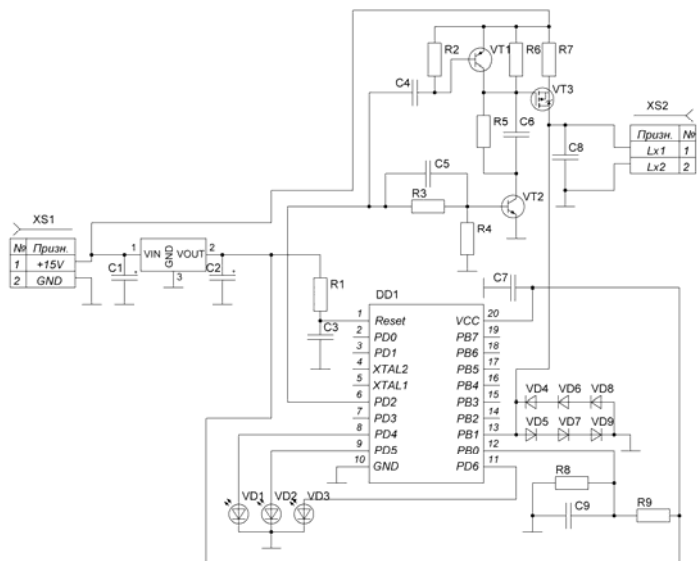


Рис. 2 – Принципіальна схема пристрою для діагностики коротко замкнутих витків котушок індуктивності

Дільник R8, R9 встановлює поріг спрацьовування компаратора. Для захисту входу компаратора використовується ланка з шести діодів VD4-VD9. Три послідовно з'єднаних діодів необхідно для того, щоб не подавати коливальний процес на вході мікроконтролера.

Програмне забезпечення для мікроконтролера написано на мові C++ у середовищі CodeVisionAVR.

Було проведено комп'ютерне моделювання роботи пристрою у середовищі Proteus (рис. 3) [2]. При моделюванні використовується осцилограф для перевірки правильності роботи схеми. За допомогою осцилографа можна дослідити форму сигналу, що подає мікроконтролер (короткий імпульс) на котушку індуктивності, та сигнал аперіодичних коливань, що виникають під час діагностики працездатності котушки індуктивності. Для моделювання відсутності коротко замкнутих витків до пристрою підключається котушка з індуктивністю 680 мкГн. За осцилограмами роботи (рис. 4) видно, що на компаратор напруги подається коливання які тривають більше 10 періодів, що інформує про відсутність замкнутих витків у котушці індуктивності.

Для моделювання наявності коротко замкнутих витків до пристрою підключаємо індуктивність 100 мкГн та резистор 10 Ом, який імітує коротко замкнуті витки котушки. За осцилограмами роботи

(рис. 5) видно, що на компаратор напруги подається коливання які тривають 1-2 періоди та згасають швидко, тому пристрій інформує про несправність котушки індуктивності (світиться червоний світлодіод D9).

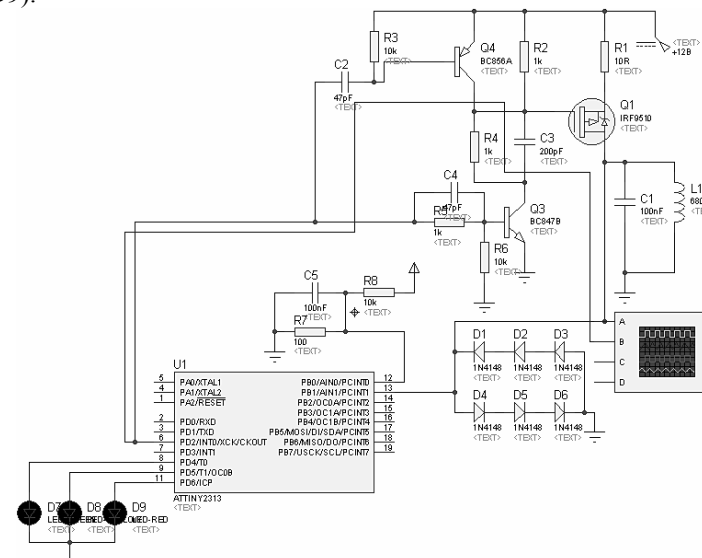


Рис. 3 – Моделювання роботи пристрою для діагностики котушок індуктивності у середовищі Proteus VSM

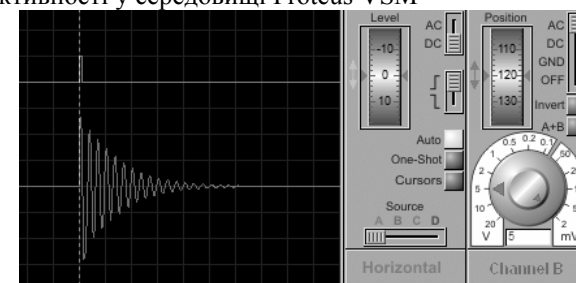


Рис. 4 – Осцилограми роботи пристрою діагностики котушок індуктивності (котушка індуктивності справна)

Для моделювання неможливості виявлення коротко замкнутих витків підключаємо до пристрою котушку з індуктивністю 100 мкГн та резистор 10 Ом. За осцилограмами роботи (рис. 6) видно, що на компаратор напруги подається коливання які тривають 4-6 періоди та згасають швидко, тому пристрій інформує про неможливість перевірити її працездатність (світиться жовтий світлодіод D8).

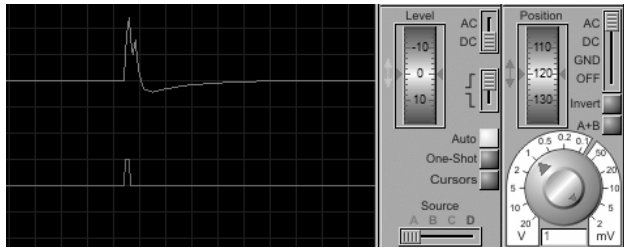


Рис. 5 – Осцилограми роботи пристрою діагностики котушки індуктивності (наявність короткозамкнутих витків)

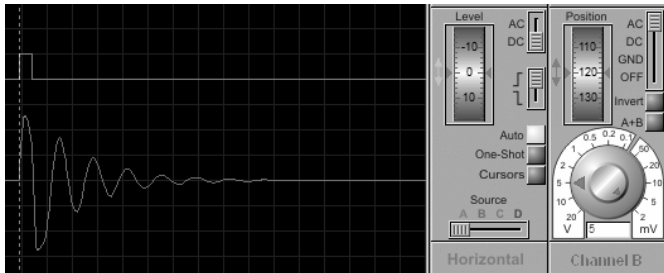


Рис. 6 – Осцилограми роботи пристрою діагностики котушок індуктивності (невизначений стан котушки індуктивності)

#### Література:

1. Цирульник С.М. Прилад для вимірювання параметрів LC / С. М. Цирульник, В. М. Ткачук, А. О. Гаврасієнко // Збірник тез доповідей І МНТК «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2011)». – Вінниця, 2011. – с.95.
2. Цирульник С. М. Проектування мікропроцесорних систем / С. М. Цирульник, Г.Л. Лисенко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 191с.
3. AVR for... [Електронний ресурс]/ Q метр – Режим доступу: [http://www.yysup.narod.ru/schem/q\\_metr.html](http://www.yysup.narod.ru/schem/q_metr.html). – Назва з екрана.

## ЗРИТЕЛЬНЫЕ ИЛЛЮЗИИ, СВЯЗАННЫЕ С ДВИЖЕНИЕМ

*Харьковский национальный университет*

*им. В.Н. Каразина*

*Ст. А. Усова*

*Рук. доц. А.Р. Казачков*

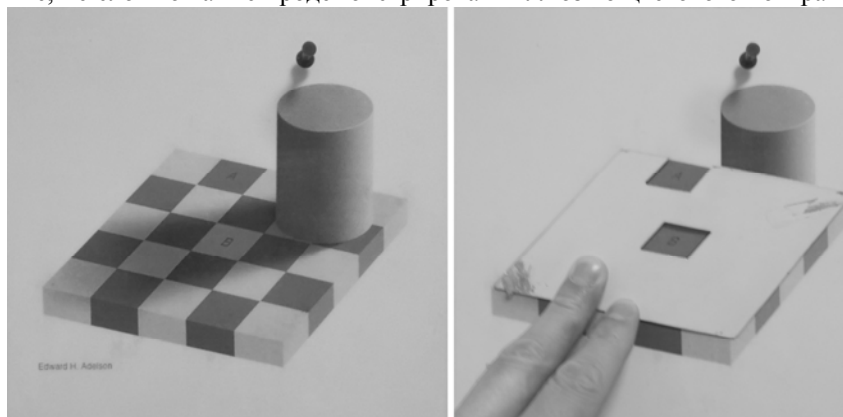
Так называемые оптические иллюзии можно достаточно строго разделить на две категории. К первой относятся неожиданные, противоречащие «здравому смыслу» явления, наблюдаемые объективно, то есть такие, которые можно, например, сфотографировать. Много интересных примеров подобных истинно оптических иллюзий, связанных с явлениями преломления, отражения света, в том числе полного внутреннего отражения, и другими, приведено в книгах [1-3].

Другую категорию оптических иллюзий составляют необычные, контр-интуитивные явления, наблюдение которых во многом обязано особенностям физиологии зрения человека. Поэтому их правильнее называть *зрительными* иллюзиями. Кроме неувядающего массового интереса к таким «обманам зрения» по причине их оригинальности и эстетичности, зрительные иллюзии привлекают внимание профессиональных исследователей, поскольку могут приводить к значительным ошибкам в визуальной оценке наблюдаемых объектов и явлений. Ученник Уильяма Лоуренса Брэгга, известный оптик Самюэль Толанский, выдвигавшийся на соискание Нобелевской премии по физике, в своей книге [4] обращает внимание на то, что зрительные иллюзии даже могут приводить к неправильным оценкам величин, изучаемых при научных исследованиях.

Хотя некоторые иллюзии зрения не являются универсальными, зависят от индивидуальных особенностей зрения или психологии человека и могут наблюдаться не всеми, известно и множество практически безотказно воспроизводимых зрительных иллюзий. Характерный пример зрительной иллюзии, связанной с яркостным контрастом, приведен на Рис. 1. При рассматривании картины слева наблюдателю кажется, что клетка А значительно темнее, чем клетка В. Однако если накрыть картину однотонным экраном с соответствующими вырезами, то становится очевидно (к немалому изумлению наблюдателя), что яркость этих клеток одинакова. С данной иллюзией можно экспериментировать на стенде кафедры физической дидактики в холле корпуса физико-математического факультета Карлова университета,

г.Прага.

Аналогично черно-белой картине на Рис. 1, или по другой схеме, не сложно также продемонстрировать иллюзию цветового контра-



ста (см. например [3], цветная вкладка 8.6).

**Рис. 1.** Стенд для демонстрации иллюзии контраста яркости, фотография (Карлов университет, г.Прага).

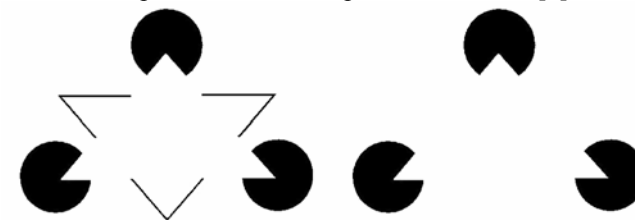
Особую группу составляют зрительные иллюзии, связанные с движением объекта наблюдения или наблюдателя. Книга замечательных американских физиков-педагогов Томаса Россинга и Кристофера Чиаверина *Light Science* [3] приводит оригинальнейший пример «движительной» иллюзии, в которой казалось бы, отсутствует движение. При рассматривании системы дуг концентрических окружностей (Рис. 2) можно явственно наблюдать муаровую картину, которой вроде бы, неоткуда появиться, поскольку нет явного наложения периодических узоров. И однако же, человек наблюдает его, поскольку непрерывное сканирование глазом поля зрения приводит к небольшим изменениям наблюдаемой картины. Вместо одного и того же изображения человек последовательно видит слегка смещенные относительно друг друга периодические узоры. Инерция зрения заставляет такие изображения накладываться, приводя к субъективно наблюдаемым муаровым картинам. Такой муар нельзя сфотографировать.

Следует отметить, что по конкретному виду наблюдаемого муара можно оценить частоту произвольных движений глаза при рассматривании стационарной картины.



**Рис. 2.** Субъективный муаровый узор ([3], стр. 308).

Среди многочисленных, порой чрезвычайно эффектных, зрительных иллюзий, связанных с движением, мы наиболее подробно исследовали иллюзию «исчезающего многоугольника». Ее статический аналог, когнитивная иллюзия наблюдения фигур, показанных лишь элементами их границ, Рис. 3, подробно описана в [3].



**Рис. 3.** Наблюдение не существующего треугольника ([3], стр. 309).

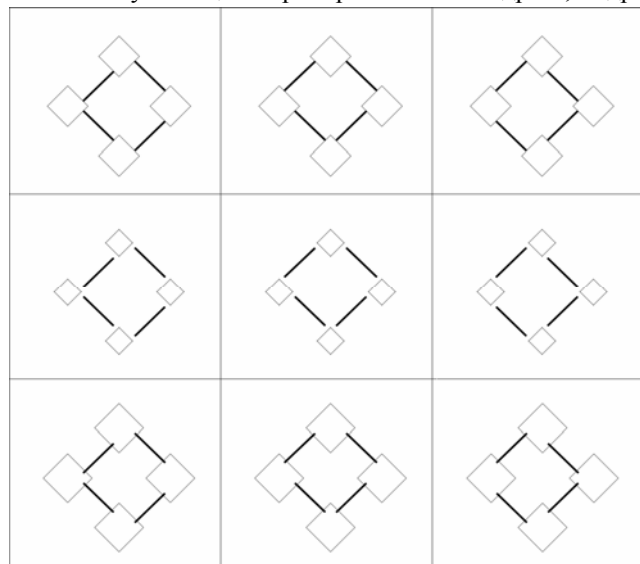
Иллюзию «исчезающего многоугольника» можно наблюдать онлайн на сайте Михаэля Баха *Optical Illusions & Visual Phenomena* [6]. В размещенной там компьютерной модели вершины контурного квадрата движутся с постоянной скоростью по окружностям равного радиуса. Если закрыть эти вершины экранами, цвет которых отличается от цвета фона, то движущиеся параллельно самим себе отрезки продолжают восприниматься наблюдателем как квадрат. Однако если экраны по цвету совпадают с фоном рисунка, то движущиеся отрезки «сложиться» в квадрат невозможно.

В развитие модели М.Баха в электронных таблицах *Microsoft Office Excel* были реализованы перестраиваемые модели равносторонних многоугольников (число сторон от трех до восьми), движение которых обеспечивалось ранее созданными программными алгоритма-



ми-макросами [7]. В отличие от исходной модели, показаны границы закрывающих вершины экранов. Такие контурные фигуры успешно визуализируют многоугольники, движущиеся циркулярно. Было установлено, что контуры, параллельные сторонам экранов цвета фона, но не совпадающие с границами экранов, также могут визуализировать многоугольники с закрытыми вершинами, хотя и в узком диапазоне размеров этих контуров, Рис. 4.

**Рис. 4.** Визуализация экранированного квадрата, кадры анимации.



ции.

Также моделировались альтернативные типы движения контурных многоугольников и закрывающих их экранов, движение отдельных отрезков и другие системы, порождающие когнитивные иллюзии.

*Литература.*

1. Gardner M. Amusing Experiments. Prosvestchenie, M., 1978.
2. Миннарт М. Свет и цвет в природе. М., 1969, 360 с.
3. Rossing T., Chiaverina C. Light Science: Physics and the Visual Arts. Springer-Verlag, NY., 1999, 442 p.
4. Толанский С. Оптические иллюзии. Мир, М. 1967.
5. <http://www.michaelbach.de/ot/mot-motionBinding/index.html>
6. Казачков А.Р., Аверков С.С., Игнатова О.С. Применение анимации в электронных таблицах Excel при решении задач по физике. *Материалы студ. конференции «Актуальные проблемы физики и их информационное обеспечение»*, НТУ «ХПИ» - Х., 2007, с. 20-22.

## КОЛЬЦЕВОЙ МАЯТНИК И ЕГО ОБОБЩЕНИЕ

*Харьковский национальный университет*

*им. В.Н. Каразина*

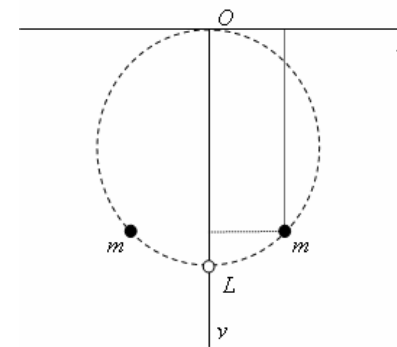
*Ст. Л.А. Котвицкая*

*Рук.: доц. А.Р. Казачков, доц. А.Т. Котвицкий*

В данной работе исследовались малые механические колебания систем, являющихся обобщением кольцевого физического маятника. Исходный маятник представляет собой бесконечно тонкое кольцо диаметром  $L$ , колеблющееся в вертикальной плоскости в однородном поле силы тяжести относительно горизонтальной оси, расположенной перпендикулярно плоскости кольца и проходящей через его произвольную точку. Показано, что данный маятник является частным случаем такого распределения масс по окружности, при котором период малых колебаний физического маятника остается неизменным и равным периоду колебаний математического маятника длины  $L$ .

Еще Галилео Галилею были известны основные свойства математического маятника, заключающиеся в том, что период его малых колебаний не зависит от амплитуды, а определяется только длиной. Позже это позволило Христиану Гюйгенсу создать прототип маятниковых часов [1].

В работах [2-4] был изучен однородный кольцевой маятник и было показано, что симметричное обрезание кольца не меняет период его малых колебаний. Таким образом, симметрично подвешенная дуга произвольного размера колеблется с таким же периодом, как и целое кольцо.



**Рис.1.**



Для обобщения данной системы рассмотрим физический маятник, представляющий собой две тяжелые точечные массы  $m_1=m_2=m/2$ , смещенные симметрично относительно оси  $OY$  на расстояние  $x$  (Рис.1).

При  $x=0$  ординаты данных масс равны  $L$ . Таким образом, физический маятник превращается в математический массой  $m$  и с периодом колебаний

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}. \quad (1)$$

Пользуясь методами аналитической геометрии [5,6] и стандартным физическим рассмотрением [7], можно показать, что если две массы  $m_1=m_2$  расположены на окружности симметрично

$$x^2 + y^2 = Ly, \quad (2)$$

то период колебаний такого физического маятника будет равен периоду колебаний математического длины  $L$ . Заметим, что его период колебаний не зависит от величины масс. Это позволяет провести следующие рассуждения. Добавим к данному физическому маятнику еще одну, симметрично расположенную, пару масс  $m_3=m_4$  (в общем случае не равных  $m_1$ ). Очевидно, что в результате период колебаний маятника не изменится.

Обобщая эти рассуждения, установим, что любое симметричное относительно вертикальной оси распределение масс по окружности приводит к тому, что период колебаний физического маятника совпадает с периодом колебаний такого математического, длина которого  $L$  равна диаметру данной окружности  $2R$ .

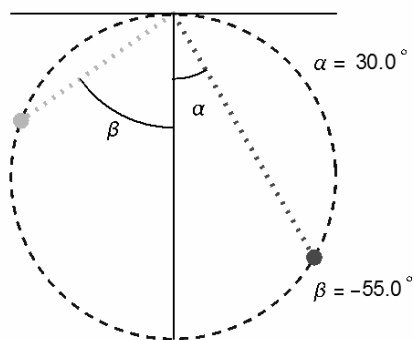


Рис.2.

Рассмотрим зависимость периода колебаний физического маятника, который составляют две массы  $m_1=m_2$ , расположенные на окружности, описываемой формулой (2), под произвольными углами  $\alpha, \beta$  (см. Рис.2).

Отношение периода  $T_\phi$  колебаний данного физического маятника и  $T_m$  математического длины  $L$  определяется следующим выражением

$$\frac{T_\phi}{T_m} = \sqrt{\frac{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta}{\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + 2 \cos^2 \alpha \cos^2 \beta + 2 \sin 2\alpha \sin 2\beta}} \quad (3)$$

Из формулы (3) следует, что периоды малых колебаний физического и математического маятников совпадают в тех случаях, когда равные массы расположены симметрично относительно оси  $OY$  или относительно центра окружности. На Рис.3 представлены зависимости  $T_\phi/T_m$  от угла  $\beta$  для случаев  $\alpha=15^\circ$  (слева) и  $\alpha=75^\circ$  (справа). Они могут быть как слабыми,  $T_\phi/T_m \approx 1$ , так и сильными с острым пиком.

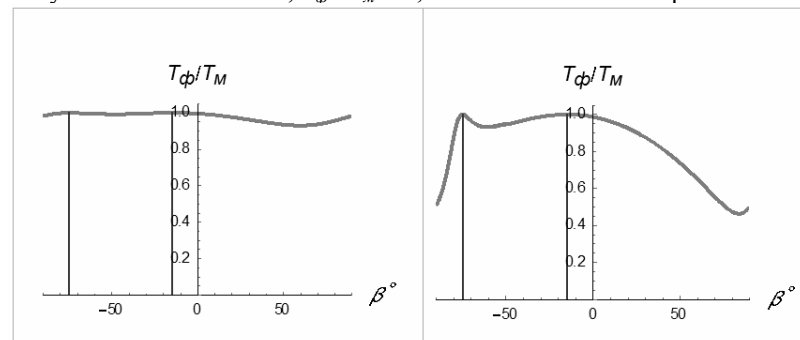


Рис.3.

Далее исследуем физический маятник, состоящий из  $N$  в общем случае не равных между собой точечных масс  $m_i \neq m_j$ . Массы расположены на окружности (2) произвольным образом.

Нетрудно показать, что если центр масс данной системы лежит на оси  $OY$ , то период колебаний такого физического маятника будет равен периоду колебаний математического маятника длины  $L$ .

В случае двух неравных масс ( $N=2$ ), расположенных на окружности под произвольными углами  $\alpha, \beta$  период колебаний данного маятника будет совпадать с периодом математического маятника длины  $L$ , если отношение этих масс удовлетворяет условию:

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\sin 2\alpha}{\sin 2\beta} \quad (4)$$

Графически зависимость (4) представлена на Рис.4 для  $\alpha = 15^\circ$ .

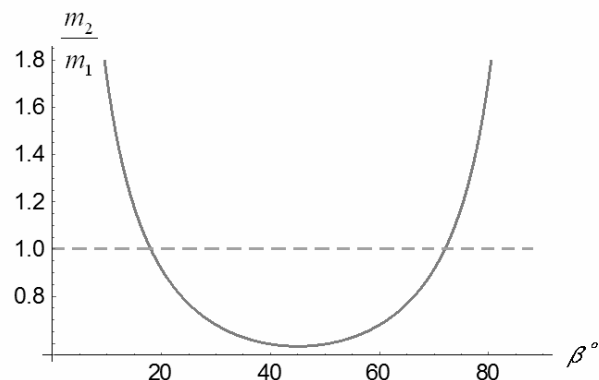


Рис.4.

Таким образом, в данной работе полностью обобщены задачи, рассмотренные в [2-4]. Было установлено, что период колебаний рассмотренного физического маятника не зависит ни от величины составляющих его масс, ни от их расположений на окружности. Это позволяет назвать данную систему *обобщенным математическим маятником*.

#### Список литературы:

1. С.Г.Гиндикин Из истории маятниковых часов. Квант №9, 1974, с.2-13.
2. R.Ehrlich Why toast lands jelly-side down. Princeton 1997
3. Walkiewicz, Wagner Symmetry properties of a ring pendulum. The Physics Teacher 32, p.142, 1994.
4. Wagner, Walkiewicz, Giltinan The partial ring pendulum American Journal of Physics 63, p.1014-1017, 1995.
5. В.Ильин, Э.Позняк Аналитическая геометрия М.: Наука, 1971: 232 с.
6. Н.Парфёнова Аналитическая геометрия задачник.-Харьков: ХНУ им. Каразина. 2011: 52 с.
7. Д.Сивухин Общая физика, т. 1, М.: Наука, 1979, 520 с.

## СПОСОБ ВХОДНОГО РЕЙТИНГОВОГО ОЦЕНИВАНИЯ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ ПЕРВОГО ГОДА ОБУЧЕНИЯ

*Харьковский национальный медицинский университет*

*Ст. И.С. Човпан*

*Рук.: доц. Л.В. Батюк, доц. А.А. Човпан*

Предложена программа, определяющая входной уровень знаний студентов-иностранцев с английским языком обучения в курсе медицинской физики. Тестирующая система с успехом заменяет т.н. «нулевую контрольную», помогая преподавателю успешнее строить образовательный процесс, что в итоге дает более высокие выходные результаты [1-4].

Тестируемому и тестирующему необходимо иметь персональный компьютер (-ы) с операционной системой Windows 98 и выше или OS Linux с графическим интерфейсом и поддержкой программы Wine.

На OS Windows доступ в интернет может быть заблокирован брандмауэром, поэтому во избежание этого необходимо добавить программу в исключения брандмауэра.

Программа написана на языке программирования Delphi в среде Delphi XE8. Скрипты на сервере написаны на языке PHP. Файл результата группы обработан с помощью языков HTML и JavaScript.

Программа делится на 5 блоков:

Заполнение данных студентом. В главном меню интерфейс выглядит следующим образом: 4 текстовых поля для ввода фамилии и имени, номера группы, название факультета, фамилии преподавателя данной группы, а также кнопка Start. Кроме того, есть три выпадающих списка для выбора страны, из которой приехал студент, года окончания школы, уровень владения английским языком, по мнению студента.

После введения всех данных программа записывает их в текстовый файл. Для проверки начала теста программа посылает *POST* запрос на *PHP* скрипт, находящийся на сервере. Скрипт проверяет существование файла (его название дается) с помощью встроенной в *PHP* функции *file\_exists()*. Если файл существует, то программа возвращает результат 404, иначе возвращает 200 (в соответствии со списком кодов состояния HTTP).

Затем программа проверяет, если пришел результат 200, то значит, файл существует, значит тест начался, в противном случае не начался.

Далее происходит считывание вопроса с сервера и отправка ответов пользователя на сервер.

В *режиме преподавателя* программа делится на следующие блоки:

1. Внесение данных тестирующим. В программе есть 3 текстовых поля для ввода фамилии преподавателя, номера группы, и электронной почты преподавателя.

2. Запись собственных вопросов, если необходимо.

Также присутствует флажок выбора тестов по умолчанию.

Если этот флажок не выбран, то преподаватель может внести свои вопросы в специальную форму.

3. Отправка запроса на сервер с объявлением начала теста. По нажатию кнопки Старт, программа формирует пустой текстовый файл и отправляет его на сервер.

4. Отправка запроса на сервер с уведомлением, что тест закончился.

5. Обработка результатов.

6. Интерпретация результата по формуле:

$$R = \frac{n_{cor}}{n} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $n_{cor}$  - количество правильных результатов у данного студента,  $n$  - количество вопросов в данном тесте

*Интерпретация* результатов группы производится в два этапа:

Шаг 1. Средний результат группы по каждому из предметов рассчитывается по формуле:

$$R_{group} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Шаг 2. Создание диаграммы создается с помощью JavaScript в соответствии с количеством студентов, получивших тот или иной результат.

7. Пересылка результата на электронную почту тестирующему.

Результат выглядит следующим образом (см. рисунок 1)

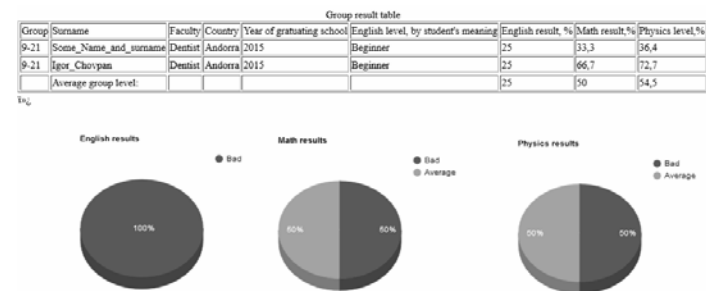


Рис. 1. Результат тестирования, пересылаемый преподавателю на электронную почту, скриншот экрана.

Таким образом, в работе представлена программа, которая представляет собой тестирующую систему, предназначенную для оценивания остаточных знаний студентов, обучающихся медицинской физике на английском языке. Для проведения тестирования студенты и преподаватель должны быть обеспечены персональными компьютерами с операционной Windows 98 и выше или OS Linux с графическим интерфейсом и поддержкой программы Wine. Перед началом тестирования преподавателю необходимо убедиться, что программе разрешен выход в интернет.

### Литература.

1. Жбора И. В., Стерчо И. П., Милевич С. С. Тестирование как метод контроля знаний студентов по химии в вузах I-II уровней аккредитации // Молодой ученый. — 2016. — №3. — С. 818-821.
2. Семинский И. Ж. Особенности использования тестирования для оценки качества знаний студентов в медицинском вузе / И. Ж. Семинский, Л. О. Гуцол, Е. В. Гузовская. // Сибирский медицинский журнал. — 2010. — №98.
3. Мовчан Н. И. Стандартизация образовательного процесса посредством внедрения тестовых технологий / Н. И. Мовчан, Р. Ф. Бакеева, В. Ф. Сопин. // Вестник Казанского технологического университета. — 2004. — №2.
4. Альтшулер О. Г. Сравнение субъективных и объективных оценок компьютерного тестирования / О. Г. Альтшулер, О. М. Колесников, Т. Ю. Павлова. // Вестник Кемеровского государственного университета. — 2012. — №1.

## ЭКРАНИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Д. Пышный, М. Пискунов*

*Рук.: ст.пр. Ю.И. Веретенникова, с.н.с. И.Г. Шипкова*

На современном этапе технического прогресса человек постоянно существует и взаимодействует с пространством, полным теле- и радиосетей, устройств мобильной связи, различных электротехнических средств – всевозможных искусственно созданных генераторов электромагнитного излучения (ЭМИ). В связи с постоянным ростом количества и мощности таких источников, игнорирование «электросмога» может привести к нарушениям работы систем коммуникации, безопасности электронных приборов, не говоря уже о вредоносном воздействии на биологическом уровне [1].

Актуальной задачей физического материаловедения является разработка материалов и покрытий, защищающих от ЭМИ в необходимом частотном диапазоне.

Физический принцип экранирования заключается в отражении и поглощении электромагнитных волн при переходе из одной среды в другую. Эффективность затухания SE материала определяется соотношениями:

$$SE = 20 \log (E_1 / E_2)$$

$$SE = 20 \log (H_1 / H_2)$$

где  $E_1$ ,  $H_1$  – напряженности электрической и магнитной компоненты в пространстве без экрана, а  $E_2$  и  $H_2$  – напряженности прошедшей через экран волны [2].

Если защита от электростатического поля заключается в перенаправлении заряда и его рассеянии при заземлении, основной идеей и функцией экрана ЭМ поля часто является многократное отражение волны (как в многослойных или пористых, композитных покрытиях), сопровождающееся потерями ее энергии (рис.1). Компенсировать внешнее высокочастотное ЭМ поле лучше экраном с высокой электропроводностью (металлы) и поляризацией свободных носителей зарядов. В случае же низкочастотного излучения и постоянного магнитного поля основным требованием является высокая магнитная проницаемость  $\mu \gg 1$  вещества. Для снижения отражательной способности металлические частицы также предлагается помещать в диэлектрическую среду (композит).

При этом важно то, что для нанесения экранирующей пленки критическими параметрами является ее толщина наряду с прочностью, а

также доступность технологии. Любая задача, будь-то эффект «невидимости» радаром военной техники, или ЭМ изоляция бытового помещения, спецодежда или индивидуальные средства защиты, определяет тип покрытия от наноструктурированного апериодического многослойной пленочной структуры до полимерной матрицы с вкраплениями металла или текстиля с проводящими волокнами [3].

Для создания экрана с оптимальными физическими свойствами и геометрическими параметрами (толщина слоя/слоев покрытия, размер и концентрация металлических частиц) рационально использовать компьютерное моделирование спектров отражения или поглощения материала [4]. При условии известных оптических констант исходных веществ алгоритмы расчета симуляционного спектра часто позволяют варьировать возможные параметры структуры экрана и добиться желаемых характеристик.

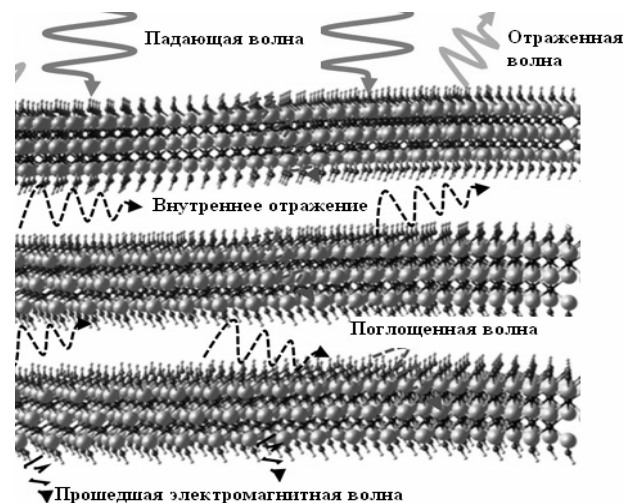


Рис.1 Модель слоистого экранирующего покрытия

[1] S.Geetha et al. EMI Shielding: Methods and Materials –A Review. // Journal of Applied Polymer Science, 2009. **112**, 2073–2086.

[2] О.С. Островский и др. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн // ФИП, 2003. Т. 1, № 2, с.161-173.

[3] В. А. Богуш Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты. М.: Бестпринт. 2003. 406 с.

[4] Tesche, F.M.; Ianoz, M.V.; Karlsson, T. EMC Analysys Methods and Computational Models; John Wiley & Sons Inc.: New York, NY, USA, 1992.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO В ФИЗИЧЕСКОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: К. Бородин, И. Шевченко*

*Рук.: доц. Котляров В.О., асс. К.А. Минакова*

Проведение экспериментов в физике и электронике требует построения экспериментальных макетов различных устройств, измерения различных физических величин и зачастую автоматизированного управления ходом эксперимента. Современная база электронных компонент и измерительная техника предоставляет весьма широкие возможности для экспериментатора и позволяет создавать измерительные комплексы, обеспечивающие не только сбор данных, но и организацию обратной связи для управления экспериментальным макетом. В то же время для создания специализированного измерительного комплекса необходимы большие временные вложения, а также высокая инженерно-техническая квалификация разработчиков. С другой стороны, универсальные платформы, предлагающие готовые мощные аппаратные модули сбора данных и управления, работающие в широком диапазоне частот и амплитуд сигналов и обеспечивающие их анализ и обработку, а также управление оборудованием с помощью легких в освоении языков графического программирования, обладают при решении ряда задач недостаточной гибкостью. Они отличаются высокой ценой и часто требуют выделения значительных рабочих площадей.

В такой ситуации определенную тактическую нишу занимает программно-аппаратная платформа Arduino. С ее помощью может быть эффективно и быстро решен целый ряд задач, связанных с постановкой радиофизического эксперимента. Платформу отличает низкая цена, наличие бесплатного программного обеспечения, возможность быстрого освоения за счет использования упрощенных языков программирования, минимальные требования к наличию дополнительных элементов и монтажного оборудования. При этом платформа предоставляет широкие возможности по генерации сигналов, сбору данных и управлению ходом эксперимента.

Arduino – это простая в использовании открытая электронная платформа, включающая так называемые стартовые наборы разработчика (starter kit) и открытое программное обеспечение и предназначенная для быстрого создания интерактивных электронных устройств

[1]. Она была создана группой энтузиастов, которые позиционировали свою разработку как платформу для быстрой реализации небольших проектов. Arduino строится на базе микроконтроллеров Atmel [2,3] и используется для получения сигналов от аналоговых и цифровых датчиков, управления различными исполнительными устройствами и обмена информацией с компьютером при помощи различных интерфейсов.

Все эти устройства представляют собой простые в использовании наборы, предлагающие схожую функциональность. Arduino, в свою очередь, тоже упрощает процесс работы с микроконтроллерами и позволяет при создании простых проектов обойтись даже без пайки элементов, используя сборку электромеханическими соединителями на макетных платах. В то же время Arduino имеет ряд преимуществ перед другими устройствами. Во-первых, это низкая стоимость (розничная цена некоторых модулей Arduino ниже 20 долларов). Во-вторых, программное обеспечение Arduino работает под управлением всех наиболее распространенных операционных систем: Windows, Macintosh OS X и Linux, в то время как большинство других устройств ограничивается одной системой (либо Windows, либо Linux). В-третьих, простая и понятная среда программирования – среда Arduino – подходит как для начинающих пользователей, так и для опытных разработчиков, экономящих свое время. Само программное обеспечение Arduino может быть модифицировано опытными пользователями, поскольку весь проект изначально предполагает открытую архитектуру с возможностью расширения. Пользователи, желающие максимально полно и эффективно использовать возможности микроконтроллера, могут без ограничений использовать любые сторонние компиляторы и внутрисхемные программаторы.

Эта реализация оказалась настолько удачной, что получила широкое распространение для применения в быту, при создании игрушек, а также среди любителей робототехники. В последнее время профессионалы также все чаще используют Arduino для быстрого решения текущих задач. Существует множество интернет-ресурсов, ориентированных на поддержку разработок на базе Arduino, в том числе на русском языке [4].

Для нашего исследования мы смонтировали робота на платформе Arduino с дальномером. В нашем проекте необходим простой дальномер с большим диапазоном измеряемых расстояний? Воспользуйтесь ультразвуковым дальномером HC-SR04.

Этот дальномер может служить прекрасным датчиком для робота, благодаря которому он сможет определять расстояния до объек-

тов, объезжать препятствия, или строить карту помещения. Его можно также использовать в качестве датчика для сигнализации, срабатывающего при приближении объектов. Принцип действия: ультразвуковой дальномер определяет расстояние до объектов точно так же, как это делают дельфины или летучие мыши. Он генерирует звуковые импульсы на частоте 40 кГц и слушает эхо. По времени распространения звуковой волны туда и обратно можно однозначно определить расстояние до объекта.

В отличие от инфракрасных дальномеров, на показания ультразвукового дальномера не влияют засветки от солнца или цвет объекта. Но могут возникнуть трудности с определением расстояния до пушистых или очень тонких предметов. Поэтому высокотехнологичную «котоловку» выполнить на нём будет затруднительно.

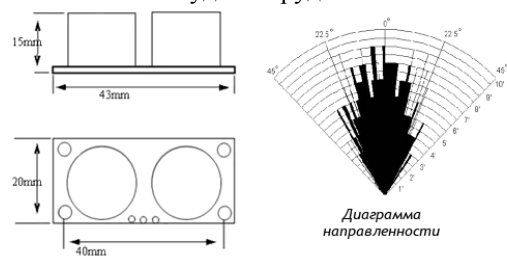


Рис. 1. - Схема ультразвукового дальномера HC-SR04.

Использование платформы Arduino в физическом эксперименте дает возможность просто и быстро решить множество технических задач, связанных с измерениями, передачей данных в компьютер и управлением исполнительными устройствами при весьма умеренной стоимости. Продемонстрировано использование платформы Arduino для демонстрации простейшего физического явления, а именно, эхолокации, которая основана на отражении сигналов различной частоты — радиоволн, ультразвука и звука. Немаловажно, что при построении макетов от монтажа пайкой удастся полностью отказаться или свести его к минимуму. Как показал опыт практическое использование, возможности платформы Arduino при создании экспериментальных макетов позволяет существенно экономить временные и материальные затраты.

1. Arduino [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://arduino.cc/>, свободный.
2. Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Classic фирмы Atmel. 3-

е изд., стер. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. 288 с., ил.

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВЕРХПРОВОДНИКОВ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
Ст.: Д.В. Брагин, А.В. Лазебный, А.А. Чаленко  
Рук. доц. А.А. Рожков*

Для расчёта и моделирования процессов в сверхпроводниках мы будем использовать уравнение Гинсбурга-Ландау. Теория Гинсбурга-Ландау (в дальнейшем Г.-Л.) — полуфеноменологическая теория сверхпроводимости, основанная на теории Л. Д. Ландау фазовых переходов второго рода. В этой работе мы рассмотрим решение этого уравнения в случае особого типа псверхпроводников- называемых «чертовой лестницей». Для этой цели нам придется решить численно уравнение Г.-Л. С периодическими коэффициентами.

Отправным пунктом теории является выражение для свободной энергии  $F$  сверхпроводника как функционала от  $\psi$  - комплексного параметра порядка (после построения микроскопической теории сверхпроводимости оказалось, что параметр  $\psi$  сверхпроводящего состояния в Г.- Л. т. пропорционален волновой функции бозе-конденсата куперовских пар электронов в сверхпроводнике или, иными словами, щели в энергетическом спектре электронов сверхпроводника).

Согласно Г.- Л. т., при темп-ре  $T_c$  сверхпроводящего фазового перехода параметр порядка  $\psi$  обращается в нуль, поэтому вблизи  $T_c$  (при  $T - T_c \ll T_c$ ) значение  $\psi$  мало и можно осуществить разложение свободной энергии  $F$  сверхпроводника в магнитное поле по малому параметру  $\psi$  и его градиентам:

$$F = f_{n0} + \int \left\{ \frac{B^2}{8\pi} + \frac{\hbar^2}{4m} \left| \left( \nabla - \frac{2ie}{\hbar c} A \right) \psi \right|^2 + a |\psi|^2 + \frac{b^2}{2} |\psi|^4 \right\} dV, \quad (1)$$

где  $F_{n0}$  - свободная энергия в нормальном (несверхпроводящем) состоянии в отсутствие магнитного поля, то и  $e$  - масса и заряд электрона,  $B$  и  $A$  - индукция и векторный потенциал магнитного поля,  $a$  и  $b$  - феноменологического коэффициента [а зависит

от температуры:  $a = a(T - T_c)$ , коэффициента  $a > 0; b > 0$  и не зависит от  $T$ . Интегрирование в (1) ведётся по объёму сверхпроводника. Наличие коэффициент 2 перед  $A$  в (1) есть следствие спаривания электронов в сверхпроводнике (Купера эффекта), этот коэффициент не мог быть определён феноменологически и появился только после создания микроскопической теории сверхпроводимости.

Пространственное распределение параметра порядка и магнитного поля в сверхпроводнике определяется минимизацией свободной энергии по  $A$  и комплексно сопряжённым величинам  $\psi$  и  $\psi^*$  (при варьировании функции  $\psi$  и  $\psi^*$  следует считать независимыми). Варьирование (1) по  $\psi^*$  при условии  $\delta F = 0$  даёт:

$$\frac{1}{4m} \left( -i\hbar \nabla - \frac{2e}{c} A \right)^2 \psi + a\psi + b|\psi|^2 \psi = 0$$

(аналогичное выражение получается при варьировании по  $\psi$ ). Варьирование (1) по  $A$  приводит к уравнению Максвелла

$$\text{rot} B = (4\pi/c)j \quad (3)$$

где плотность сверхпроводящего тока  $j$  определяется градиентом фазы функции  $\psi$

$$j = -\frac{ie\hbar}{2m} (\psi^* \nabla \psi - \psi \nabla \psi^*) - \frac{2e^2}{mc} |\psi|^2 A. \quad (4)$$

Граничные условия к написанным уравнениям на поверхности сверхпроводника - это непрерывность вектора  $B$  и условие  $n(-i\hbar \nabla \psi - 2eA\psi/c) = 0$  ( $n$  - нормаль к поверхности), обеспечивающее обращение в нуль нормального к поверхности компонента тока.

Уравнения (2)-(4), наз. уравнениями Гинзбурга - Ландау, вместе с Максвелла уравнениями позволяют вычислить параметр порядка, распределения полей и токов, диамагнитный отклик, поверхностное натяжение на границе сверхпроводящей и нормальной фаз и др. характеристики сверхпроводника.

Поведение решений уравнений Г.-Л. т. определяется двумя характерными масштабами длины. Это - глубина проникновения в сверхпроводник слабого магнитного поля, не меняющего распределение параметра порядка,

$$\delta(T) = \left[ \frac{mc^2 b}{8\pi e^2 \alpha (T_c - T)} \right]^{1/2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left( 1 - \frac{T}{T_c} \right)^{1/2} \delta_0,$$

где  $\delta_0 = 4\pi n_e e^2 / mc^2$  - т. н. лондоновская глубина проникновения при  $T=0$ , и характерный масштаб изменения  $\psi$  в отсутствие поля

$$\xi(T) = \hbar/2 (m\alpha)^{1/2} (T_c - T)^{1/2},$$

наз. длиной когерентности при данной темп-ре.

Существенной характеристикой сверхпроводника является безразмерный параметр  $\kappa = \delta/\xi$ . При  $\kappa < 1/\sqrt{2}$  сверхпроводники

наз. сверхпроводниками 1-го рода, при  $\kappa > 1/\sqrt{2}$  - сверхпроводниками 2-го рода (обычно величина  $\kappa$  оказывается малой для чистых металлов: 0,01 для Al, 0,13 для Sn, 0,23 для Pb; для сплавов величина  $\kappa$  заметно больше).

При  $\kappa = 1/\sqrt{2}$  меняет знак поверхностное натяжение, являющееся отрицательным при  $\kappa > 1/\sqrt{2}$ . Это приводит к тому, что для сверхпроводников 2-го рода в диапазоне полей между т. н. верхним ( $H_{c2}$ ) и нижним ( $H_{c1}$ ) критическими магнитными полями характерно смешанное состояние - разбиение сверхпроводника на мелкие области сверхпроводящей и нормальной фаз с большой развитой поверхностью раздела. Вблизи  $H_{c1}$  сверхпроводник в осн. находится в сверхпроводящем состоянии, в него вкраплены вихревые нити или кольца, представляющие собой зародыши нормальной фазы, вблизи которых сосредоточено проникающее в тело магнитное поле. Сосредоточенный вблизи нити полный магнитный поток квантуется и является целым кратным от элементарного кванта

потока  $\Phi_0 = \pi\hbar c / |e|$  (см. Квантование магнитного потока). Область применимости Г.-Л. т. задаётся условиями:  $b^2 T_c / \alpha (\hbar^2 / m)^3 \ll (1 - T/T_c) \ll 1; 1 - T/T_c \ll \kappa^2$ . (5)

В рассмотренной модели уравнение Г.-Л. сводится к дифференциальному уравнению 2-го порядка с периодическими коэффициентами.

#### Литература

Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : у 5-ти т. / Д.В. Сивухин. - М.: Наука, 1983

# КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕРАВНОВЕСНОГО РОСТА КРИСТАЛЛОВ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: А.О. Власенко, Д.О. Юрчик,*

*А.Р. Евдокимова*

*Рук.: доц. И.В. Синельник, инж. С.М. Колубаева*

Проблема отбора морфологий роста является одной из глобальных нерешенных проблем современного естествознания. Частью её является проблема понимания эволюции формирования реальной структуры кристалла на различных масштабных уровнях, их соподчинённости и взаимообусловленности.

Целью настоящей работы было изучение возможностей компьютерного моделирования для построения кристаллических структур и процессов роста кристаллов.

Было проанализировано программное обеспечение для построения и отображения кристаллических структур.

1. Shape. Непосредственное изображение кристалла строится либо в ортогональной, либо в перспективной проекции.

2. DRAWxtl. Компьютерная программа с открытым исходным кодом для создания и отображения кристаллической решетки различных кристаллов.

3. XtalDraw. Небольшая программа для простой и наглядной визуализации структур на основе ASCII-файла с исходными параметрами. Позволяет изображать все основные виды 3D-моделей кристаллических структур. Создаёт растровое изображение и видео.

4. Crystal Studio. Профессиональный пакет программного обеспечения для кристаллографии. Это - инструмент для удобного создания, 3D графического проектирования, отображения и преобразования прозрачных и макро-молекулярных структур, поверхности и дефектов, для моделирования результатов рассеяния рентгеновского и нейтронного излучения, картины дифракции электронов. Усиленная кристаллографической базой данных, Crystal Студия позволяет создавать фотореалистичные 3D-графики и дифракционные картины, рассчитывать свойства материалов.

5. CrystalMaker. Модульное программное обеспечение. CrystalMaker осуществляет моделирование кристаллических молекулярных структур. CrystalMaker впечатляет графикой высокого разрешения, в том числе 3D-стерео в цвете: отличный способ 3D визуализации.

ции. SingleCrystal позволяет моделировать рентгеновские, нейтронные и ТЕМ дифрактограммы из монокристаллов а также сравнить с данными наблюдений в том же окне.

Большая часть профессионального программного обеспечения не отражает процессов кристаллического роста, особенно в неравновесных условиях с образованием фрактальных структур, что представляет значительный интерес. Для изучения таких процессов была рассмотрена классическая модель агрегации, ограниченной диффузией (модель Виттена – Сандера).

Результаты компьютерного моделирования приведены на рис. 1 – 4.

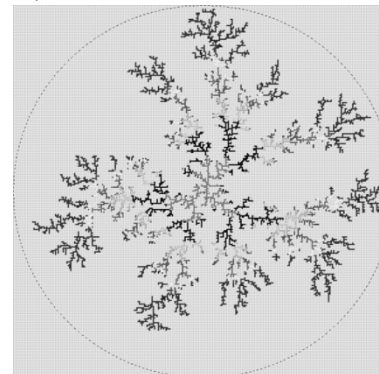


Рисунок 1

*Вероятность: 100%  
Количество частиц: 10000  
Размер сетки: 1  
Размерность: 1,80  
Число частиц: 7491  
Характеристика: Суженная структура. К краям расширяется. Активный рост в начале.*

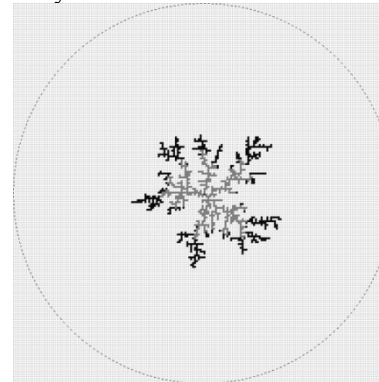
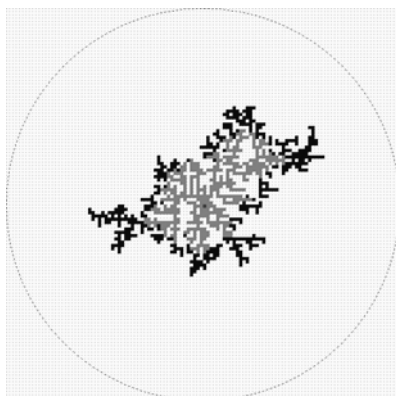


Рисунок 2

*Вероятность: 50%  
Количество частиц: 1000  
Размер сетки: 2  
Размерность: 1,70  
Число частиц: 992  
Характеристика: Очень плотная и разветвленная структура*





Вероятность: 10%  
 Количество частиц: 1000  
 Размер сетки: 4  
 Размерность: 1,60  
 Число частиц: 871  
 Характеристика: Плотность высокая, разветвления практически отсутствуют.

Рисунок 3

Частицы стартуют из случайной точки на окружности, описанной вокруг сетки, отражающей геометрию кристаллической решетки, и движутся по случайной ломаной линии. Задается алгоритм присоединения частицы к уже сформировавшемуся агрегату. В начальный момент моделирования кристалл представлен единичной клеткой в центре сетки (и в центре стартовой окружности).

В результате компьютерного моделирования неравновесного роста в соответствии с моделью DLA выяснили, что на плотность структуры главным образом влияют размер сетки и вероятность залипания частиц. Чем ниже вероятность залипания и больше размерность сетки, тем более плотная и менее ветвистая структура получится. Размерность таких структур наблюдалась в пределах 1.60 – 1.80, что согласуется известными из литературы результатами.

### Литература:

1. А.А.Шибков, М.А.Желтов. Физика и геометрия неровного роста // Вестник ТГУ. – 2000. Вып.5 т.5 – С. 558 – 565.
2. Зырянов Р. С. Развитие фрактальных моделей агрегации коллоидных частиц // Молодой ученый. — 2016. — №24. — С. 72-76.
3. Золотухин И. В. Фракталы в физике твердого тела. // Соросовский образовательный журнал. – 1988. - №7. – С. 108-113.
4. Бабич В. Н. Кремлёв А. Г. О фрактальных моделях в архитектуре. // Архитектон: извещения вузов. – 2010. - №30

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВУКОВОГО РЕДАКТОРА ДЛЯ АНАЛИЗА КОЛЕБАНИЙ КАМЕТРОНА

*Национальный технический университет  
 «Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Д.М. Главчева, А.О. Прилипа, К.В. Свиридов,  
 В.Ю. Скрипка*

*Рук.: доц. И.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко,  
 инж. А.В. Синельник*

Камертон – устройство для воспроизведения звука определенной высоты (чаще всего звук первой октавы) и соответственно определенной частоты. Он используется в музыке, медицине, технике. Камертон – удобная модель для демонстрации различных физических процессов и явлений, например, закономерностей затухающих колебаний.

Определение акустических параметров камертона – тема одной из обязательных лабораторных работ физического практикума [1]. В данной лабораторной работе предполагается, что зубцы U-образного камертона совершают колебания по закону:

$$x = A e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi_0),$$

где  $x$  – смещение от положения равновесия,  $A$  – амплитуда колебаний,  $t$  – время,  $\beta$  – коэффициент затухания, он характеризует быстроту затухания колебаний;  $\omega$  – циклическая частота затухающих колебаний,  $\varphi_0$  – начальная фаза. Если затухание выражено слабо, то затухающие колебания можно рассматривать как гармонические, амплитуда которых изменяется по экспоненциальному закону. Для определения акустических параметров измеряют время, за которое амплитуда колебаний уменьшается в два раза, наблюдая непосредственно за движением зубца камертона через микроскоп. Однако погрешность таких измерений достаточно высока, к тому же нет экспериментального подтверждения экспоненциального характера убывания амплитуды. Для определения характера зависимости амплитуды от времени и уменьшения погрешности измерения был предложен метод прямого измерения зависимости амплитуды колебаний от времени с использованием циклического режима измерений секундомера мобильного телефона или смартфона [2]. Как показывает экспериментальное исследование ре-

зультаты измерений в обоих случаях являются субъектно зависимыми, то есть сильно зависящими от наблюдателя.

Целью данной работы является изучение возможности использования звукового редактора для изучения характеристик затухающих колебаний камертона путем анализа цифровой записи издаваемого им звука.

В данной работе для создания затухающих колебаний было использовано три разных камертона: один низкочастотный и два камертона различной конструкции, воспроизводящих звук ля первой октавы.

Для низкочастотного камертона с частотой колебаний 67 Гц было выполнено исследование изменения амплитуды затухающих колебаний с течением времени (сравнение методик анализа аудиозаписи и визуального измерения).

Для всех трех камертонов выполнено определение условного периода и расчет соответствующей частоты колебаний, исследованы временная зависимость амплитуды и спектральный состав звуковых колебаний, рассчитаны характеристики затухающих колебаний.

Для обработки аудиозаписей звука, создаваемого камертоном, была использована программа Adobe Audition. Для определения периода (и затем расчета частоты) колебаний и для изучения зависимости амплитуды колебаний от времени использовано отображение зависимости смещения от времени (см. рис. 1).

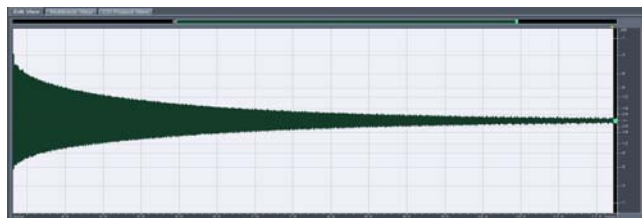


Рис.1 – Диаграмма Waveform

Для изучения спектрального состава колебаний и выявления обертонов камертона были исследованы диаграммы частот (см. рис.2), наиболее явные пики на диаграмме соответствуют обертонам камертона, и спектральные диаграммы.

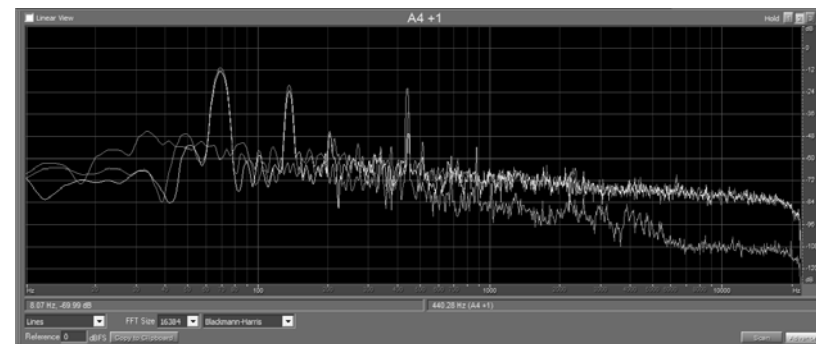


Рис.2 – Пример диаграммы частот

Спектральные диаграммы иным способом визуализируют звучащие частоты, с их помощью производилась проверка и подтверждение результатов, полученных при исследовании диаграмм частот.

Для U-образных камертонов запись проводилась для разных положений микрофона относительно камертона, выполнено сравнение полученных результатов (анализ спектрального состава и изменения амплитуды). Показано, что характер затухания звука отличается для некоторых положений микрофона, что может объясняться направленностью звуковых волн или наложением колебаний, издаваемых каждым из зубцов камертона.

В проведенном исследовании продемонстрирована возможность использования звуковых редакторов для изучения характеристик колебаний камертона, показана экспоненциальная зависимость амплитуды от времени и наличие обертонов вплоть до 6-7-го в спектре колебаний камертона.

## Литература

1. Загальна фізика. Лабораторний практикум : навч. посіб. : у 3 ч. Ч.2 : Коливання та хвилі. Оптика / за заг. ред. А.О.Мамалуя – Харків Підручник НТУ "ХП", 2012. – с. 5-11.
2. П.Падалка, І.В.Синельник, Г.Н.Белявська, О.В.Синельник. Використання комп'ютерних технологій для визначення акустичних параметрів камертона // Актуальні проблеми фізики та їх інформаційне забезпечення : тези доповідей XIV Регіон. наук. студ. конф., 2014 р. – Харків: НТУ «ХП» – с.60.

# ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕПИ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: В.В. Каменев, Е.Ю. Шемякин*

*Рук.: доц. И.В. Синельник, ст.пр. Н.Е. Оверко,  
ас. Ю.С. Овчаренко*

Идеальная модель нелинейных колебаний в электрической цепи, приводящая к появлению детерминированного хаоса была предложена Л. Чуа, неоднократно исследована методами математического моделирования и реализована практически [1]. Экспериментальная схема (см. рис. 1) для изучения перехода к хаотическому режиму колебаний в электрической цепи была исследована Д.Смитом [2]. Было показано, что переход к хаотическому режиму происходит путем последовательного возникновения дополнительных гармоник. Однако физический механизм их возникновения не был изучен.

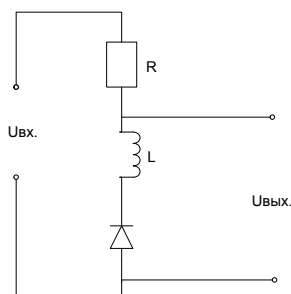


Рисунок 1  
Схема электрической цепи с нелинейным элементом (диодом)

В качестве нелинейного элемента был использован диод IN4007, резистор имел сопротивление 200 Ом, индуктивность катушки составляла 100 мкГн. Входной сигнал создавал генератор функций, исследовался диапазон частот от 100 кГц до 2 МГц, амплитудное значение входного напряжения от 0,8 до 5 В. Для регистрации выходного сигнала использовался осциллограф. На экран осциллографа выводилась зависимость от времени входного и выходного (на диоде и индуктивности) напряжения (см. рис. 1) либо входного напряжения и напряжения на диоде (см. рис. 2).

Моделирование выполнялось путем численного решения дифференциального уравнения, полученного из правил Кирхгофа. Вольтамперная характеристика диода при прямом включении аппроксимировалась экспоненциальной зависимостью (уравнение Шокли) или использовалась паспортная зависимость для данного типа диода. В результате моделирования получали временную зависимость выходного напряжения.

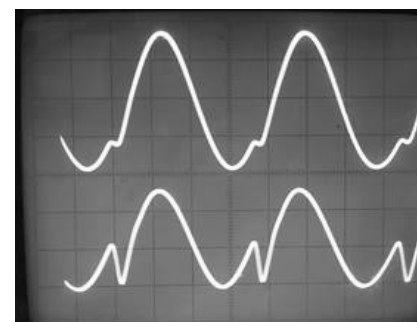


Рисунок 2 Входной и выходной сигнал, частота 500 кГц

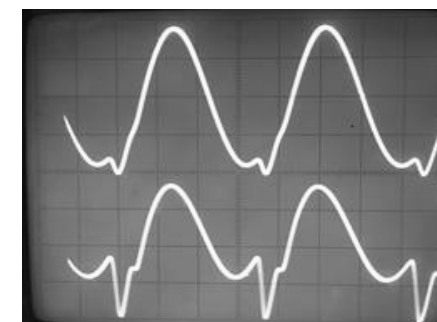


Рисунок 3 Входной сигнал и напряжение на диоде, частота 500 кГц

Экспериментальное исследование показало, что возникновение дополнительных гармоник в спектре выходного сигнала коррелирует с особенностями изменения напряжения на диоде.

Показано качественное совпадение результатов численного моделирования с экспериментом – возникновение дополнительных частот в спектре выходного сигнала.

Дальнейших исследований и обсуждения требует особенности характера напряжения на диоде: при частоте, превышающей 500 кГц, при прямом включении напряжения на диоде, диод работал в режиме обратного включения.

## Литература:

1. Бугаевский М. Ю., Пономаренко В. И. Исследование поведения цепи Чуа. Учебно-методическое пособие, — Саратов: Издательство ГосУНЦ «Колледж», 1998. — 29 с.
2. Д.Смит. Генерирование хаоса в домашних условиях // В мире науке, 1992, №3, с. 80-83

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА В МАГНЕТИКАХ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ИЗИНГА

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»  
Ст.: И.И. Литвин, Э.Э. Малохвей, Р.А. Коваль  
Рук.: доц. И.В. Синельник, ас. Ю.С. Овчаренко,  
инж. А.В. Синельник*

Ферромагнетики являются одними из основных материалов, используемых для записи и хранения информации, поэтому их свойства представляют значительный интерес. Ферромагнетики – вещества, обладающие спонтанной намагниченностью в отсутствие внешнего магнитного поля; вектор индукции магнитного поля в ферромагнетике сонаправлен с вектором напряженности внешнего поля, и достигает значительной величины. Магнитные свойства ферромагнитных материалов сохраняются до тех пор, пока их температура не достигнет значения, называемого точкой Кюри. При температурах выше точки Кюри ферромагнетик ведет себя во внешнем магнитном поле как парамагнитное вещество, при этом изменяются и другие его свойства.

Для объяснения свойств ферромагнетиков существует много моделей и теорий, одна из самых простых и эффективных – модель Изинга. В этой модели ферромагнетик представляется как сетка, в каждом из узлов которой находится атом, собственный момент (спин) которого может принимать значения -1 или +1. Полная энергия системы состоит из энергии обменного взаимодействия, равной  $-J \sum_{i,j} s_i s_j$ , где  $J$  – константа обменного взаимодействия и энергии, которую приобретают атомы во внешнем магнитном поле  $h \sum_i s_i$ , где  $h$  – вектор напряженности магнитного поля. Кинетическая энергия атомов, находящихся в узлах кристаллической решетки, считается равной 0. Выражение для энергии в случае двумерной решетки размерностью  $N \times M$  имеет вид:

$$E = -J \sum_{i,j} (s_{i,j} s_{i+1,j} + s_{i,j} s_{i-1,j} + s_{i,j} s_{i,j+1} + s_{i,j} s_{i,j-1}) + h \sum_{i,j} s_{i,j}$$

Алгоритм моделирования следующий:

1) задается начальная ориентация всех спинов атомов случайным образом; 2) определяется энергия системы; 3) случайно выбира-

ется один атом, его спин изменяется на противоположный и определяется энергия системы для новой конфигурации; 4) если в результате переориентации спина энергия уменьшилась, то такое изменение конфигурации системы принимается, в противном случае – отклоняется; 5) возврат к операции 2; если перебраны все атомы, то на экран выводится информация о состоянии системы, затем снова повторяется операция 2. Для поиска состояния с наименьшей энергией используется алгоритм Метрополиса.

Существуют вариации модели Изинга, в которых для спина возможны три состояния ( $s_{i,j} = -1, 0, 1$ ), учитываются влияния восьми соседних атомов. Для исследования фазового перехода в зависимости от температуры состояние с меньшей энергией (п.4) принимается или отклоняется с определенной вероятностью, подчиняющейся распределению Больцмана. Для определения точки перехода строится зависимость намагниченности от температуры.

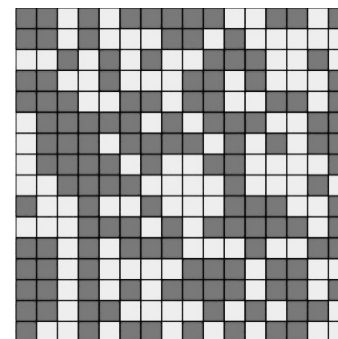


Рисунок 1 Результат моделирования

Были исследованы двумерные решетки различных размеров, с учетом взаимодействия четырех и восьми ближайших соседей, рассмотрены классический вариант с двумя значениями спинов (-1, 1) и тремя возможными значениями (-1, 0, 1). В результате компьютерного моделирования показано, что атомы в ферромагнетике группируются в домены – области спонтанной намагниченности (см. рис. 1). При температуре выше критической  $T_k$  происходит фазовый переход.

Модель Изинга применяется для решения широкого круга задач, выходящих за пределы магнетизма, например, в теории нейронных сетей и квантовых компьютеров.

### Литература:

1. Булавин Л.А., Выгорницкий Н.В., Лебовка Н.И. Компьютерное моделирование физических систем. — Долгопрудный: Интеллект, 2011. — 352 с.
2. Майер Р.В. Компьютерное моделирование физических явлений. — Глазов, ГГПИ: 2009. — 112 с.

## ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ КВАНТОВОГО КОМПЬЮТЕРА

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: Н.С. Продченко, Т.С. Майстренко,*

*Р.Г. Васильченко*

*Рук. доц. Г. И. Конач*

Квантовые технологии все чаще встречаются в наше время, что есть следствием тенденции к миниатюризации цифровых вычислительных устройств. Поэтому в этом докладе мы попытались приоткрыть занавес в загадочный и сложный мир квантовых явлений, посмотреть на успехи их использования в процессе создания квантовых вычислительных устройств, а также на возникающие в связи с этим проблемы.

Впервые идею о возможности квантовых вычислений высказал выдающийся математик Ю. И. Манин в 1980 году[1]. В 1982 Ричард Фейнман предложил первую базовую модель квантового компьютера[2]. Он продемонстрировал его преимущество по сравнению с классическим компьютером для моделирования процессов в квантовомеханических системах. Это подтолкнуло многих энтузиастов к созданию разнообразных алгоритмов для решения задач, разработанных специально для квантового компьютера. Классическим примером является алгоритм Шора – алгоритм разложения на множители сложных чисел[3].

Квантовый компьютер — вычислительное устройство, которое использует принцип квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для передачи и обработки данных. Особенностью квантовых компьютеров есть использование уникальных свойств объектов микромира, в частности – суперпозиции и запутанности.

Принцип суперпозиции заключается в том, что если квантовая система может существовать в состояниях  $|\psi_1\rangle$  и  $|\psi_2\rangle$ , то она может

существовать и в состоянии их суперпозиции:  $|\psi\rangle = \alpha|\psi_1\rangle + \beta|\psi_2\rangle$ . Ком-

плексные амплитуды вероятности  $\alpha$  и  $\beta$  должны удовлетворять условию нормировки:  $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ [4].

Квантовая запутанность возникает в системе, состоящей из двух и более взаимодействующих подсистем (или взаимодействовавших ранее, а затем разделенных), и представляет собой суперпозицию макроскопически различных состояний. В таких системах флуктуации отдельных частей взаимосвязаны посредством нелокальных квантовых корреляций. В этом случае изменение одной части системы в тот же момент времени сказывается на остальных ее частях (даже если они разделены в пространстве, вплоть до бесконечно больших расстояний)[5].

Базовым элементом квантового компьютера (носителем информации) является квантовый бит – кубит [3]. Как и бит, кубит допускает

два собственных состояния, обозначаемых  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$  (обозначения Дирака), но, помимо этого, может находиться и в промежуточном состоянии от  $|0\rangle$  до  $|1\rangle$ .

В качестве кубита может быть выбрана любая квантовая система с двумя состояниями, характеризуемыми ортонормированными вол-

новыми функциями  $|\psi_0\rangle$  и  $|\psi_1\rangle$ , например электронный спин, который в

постоянном внешнем магнитном поле имеет два уровня энергии, соответствующих направлениям спина вдоль и против поля. Квантовая система может быть макроскопической (сверхпроводники, сверхтекучие жидкости, бозе-газ), отдельной атомной частицей или колебательной модой.



Для описания физических систем в квантовой механике используют сферу Блоха (рис. 1)[4]. Она является единичной двумерной сферой, каждая пара диаметрально противоположных точек которой соответствуют взаимно ортогональным

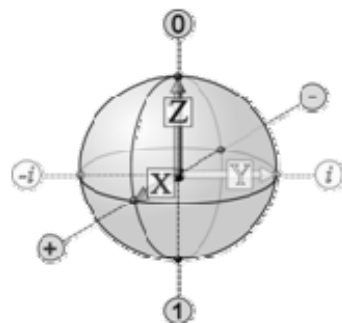


Рис. 1. Сфера Блоха

векторам состояния  $|0\rangle$  и  $|1\rangle$ .

Точки на поверхности сферы соответствуют чистым состояниям квантовой системы, в то время как точки внутри сферы представляют смешанные состояния.

Процесс вычислений на квантовом компьютере описывается как

преобразование вектора начального состояния  $|\psi_0\rangle$  квантового регист-

ра в конечный вектор  $|\psi\rangle$  путём умножения вектора  $|\psi_0\rangle$  на унитарную

матрицу  $U$  размерностью  $2 \times 2$  (в которой заключены формулировка задачи и алгоритм её решения). Таким образом, для решения задачи на квантовом компьютере требуется изготовить необходимое число кубитов, привести их в начальное состояние, т. е. инициализировать их (например, охлаждением регистра до сверхнизких температур) и выполнить преобразование (осуществить управление квантовой эволюцией). Управление квантовой эволюцией осуществляется с помощью управляющего классического компьютера, генераторов импульсных полей и средств измерения состояний кубитов.

Классическая информация о решении задачи содержится в конечном векторе состояния  $|\psi\rangle$ ; она получается измерением состояния ку-

битов в базисе  $|0\rangle, |1\rangle$ . Физическая реализация измерения состояния

отдельного кубита сопряжена с решением весьма сложных технологических проблем, поскольку необходимо производить измерения состояний отдельной атомной частицы: состояния спина электрона или ядра атома, состояния орбитального движения электрона в атоме или квантовой точке. По существу, для каждой реализации кубита требуется разработка соответствующего физического метода измерения его состояния. Проблема измерения состояния отдельных кубитов – одна из самых трудных на пути реализации квантового компьютера. Исход квантового измерения является вероятностным (т. е. квантовый компьютер – цифровой вероятностный компьютер), поэтому для получения достоверного результата необходимо многократное повторение алгоритма. По современным оценкам, параметры управляющих компьютером сигналов должны контролироваться с точностью  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ .

Другой сложностью является необходимость ограничения процесса декогеренции, т.е. «разрушения», квантовых состояний, обусловленного взаимодействием системы кубитов с окружающей средой, что приводит к разрушению суперпозиций квантовых состояний и делает невозможным выполнение квантовых алгоритмов[5].

Сегодня в некоторой степени удалось решить эти проблемы для квантовых компьютеров, которые имеют в своем распоряжении до 7 кубит. Тем не менее они все еще остаются прототипами. Их главное преимущество не в скорости работы, а в способности эффективно решать сложные задачи. Квантовый компьютер дополнит современную вычислительную технику, так как он дает экспоненциальное ускорение решения задачи, заменяя неэффективные классические алгоритмы эффективными квантовыми.

1. Ю. И. Манин. Вычислимое и невычислимое. — М.: Сов. радио, 1980. — 128 с.;
2. Feynman, R.P. Simulating physics with computers // International Journal of Theoretical Physics. — 1982. — V. 21. — Number 6. — P. 467—488;
3. <http://knowledge.su/k/kvantovyy-kompyuter>;
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki>;
5. С.И. Доронин «Квантовая магия», 2007 г. – 162 с.;

## ІСТОРІЯ ФІЗИКИ

### **ВНЕСОК ДОЛИВО-ДОБРОВОЛЬСЬКОГО МИХАЙЛА ЙОСИПОВИЧА У РОЗВИТОК ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ**

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст. В.В. Нікітін*

*Кер. доц. С.С. Ткаченко*

Питання електротехніки в сучасному світі займає одне з провідних місць серед галузей промисловості, медицини, військової та інших. Це пояснюється тим, що саме електроенергія доволі легко перетворюється в інші види енергії, а при її видобуванні можна легко поділити та передати на велику відстань споживачу, завдячуючи польсько-російському вченому Михайлу Йосиповичу Доливо-Добровольському.

XIX століття заклало основи для подальшого розвитку науки наступного століття і створило передумови для багатьох майбутніх винаходів і технологічних нововведень, якими ми користуємося в даний час. Наукові відкриття XIX століття були зроблені в багатьох областях і значно вплинули на подальший розвиток суспільства. Одним із актуальних питань кінця XIX століття було передача електричної енергії на відстань, адже були створені потужні тогочасні генератори постійного і змінного струму Майклом Фарадеєм і Іполитом Піксі. На той час Михайло Йосипович працював на посаді шефа-електрика у фірмі АЕГ (АСТ), на яку був запрошений професором кафедри спеціальної електротехніки Еразмом Кіттлером Дармштадтського вищого технічного училища через те, що був відрахований з Ризького політехнічного інституту в Росії 1881 року за революційні настрої. Захоплення технікою у Михайла Йосиповича почалося ще з дитинства. Цікаво те, що у початковий період своєї діяльності шефа-електрика Михайло Йосипович, поряд із загальним технічним керівництвом, основну увагу приділяв вдосконаленню конструкцій акумуляторів, пристроїв і отримав декілька патентів на винаходи.

Варто зазначити, що на той час над питанням передачі електроенергії на відстань електричних машин і вимірювальних приладів багато відомих науковців і фірм. Вперше передача електроенергії була здійснена в 1873 р на Міжнародній виставці у Відні І. Фонгеном - го-

ловним інженером заводу З. Грамма, творця першої динамо-машини в 1871 р. Лінія передачі довжиною близько 1 км забезпечувала харчування електродвигуна від динамо-машини. Подібні досліди проводили і Ф. Пироцький і М. Депре, якими сам факт можливості цього був доведений, проте низька передання потужність і коефіцієнт корисної дії, радіус дії електростанцій був невеликим. Також багато хто не знав, якому струму віддати перевагу, постійному чи змінному.

Зрештою блискуче вирішив ці проблеми, російський інженер, шеф-електрик фірми АЕГ М. Доливо-Добровольський. Незважаючи на величезну масу поточних справ, він цілком вільний час уриваючи години у сна, розробляв конструкцію генератора змінного струму шляхом простої перебудови машини постійного струму. Ось як він писав про це згодом: «... я натрапив на думку зробити відгалуження від трьох рівновіддалених точок якоря постійного струму. Так з'явився трифазний струм з трьома проводами». Іншими словами, Михайло Йосипович прийшов до ідеї системи трифазного змінного струму.

Керівництво фірми підтримало цю ідею і у короткий термін (1888- 1891 рр.) він побудував трифазні синхронні генератори, трансформатори і асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. До речі, останні мали просту конструкцію і хороші характеристики.

Михайло Йосипович був глибоко переконаний у великому майбутньому техніки трифазного струму. Але потрібно було переконати в цьому і весь електротехнічний світ. Тут йому допомогла Міжнародна електротехнічна виставка у Франкфурті-на Майні, яка відкрилася в 1891 р. Технічне керівництво фірми АЕГ прийняло дуже сміливе рішення продемонструвати учасникам виставки передачу електроенергії на відстань в 170 км (на той час це був фантастичний, грандіозний проект) між містами Лауфен і Франкфурт-на-Майні.

Вирішивши ряд питань у короткий термін 25 серпня 1891 р. роботу лінії електропередач продемонстрували відвідувачам виставки. Запалилися тисячі електроламп, що живляться змінним струмом від гідроелектростанції на р. Лауфена. На наступний день був успішно випробуваний потужний (100 к. с.) асинхронний двигун, який в наступні демонстраційні дні приводив в дію 10-метровий декоративний водоспад, який падав зі скелі.

Успішна робота лінії передачі електроенергії на відстань стала тріумфом системи трифазного змінного струму та її творця, принісши йому світову популярність.

Після 1891 р Михайло Йосипович продовжив працювати і займався удосконаленням конструкції синхронного генератора, розробкою конструкції комутаційної апаратури (вимикачів і перемикаючих

пристроїв), вимірювальних приладів (частотомірів, вентиляторів та інших), а також пристроїв захисту і дуго-гасіння.

Виступивши в Петербурзі 27 грудня 1899 р. з великою доповіддю «Сучасний розвиток техніки трифазного струму» науковець закінчивши її словами: «Трифазний струм став сучасним культурним фактором; благотворний вплив, який зробила електротехніка на життя західних народів, не забариться виявитися і у нас на Русі».

Після цього йому було зроблено пропозицію очолити електромеханічне відділення під час відкриття Петроградського політехнічного інституту. Він погодився, вирішивши повернутися в Росію. Однак численні справи на фірмі АЕГ в 1900 р не дозволили йому переїхати на постійне проживання до Петербургу. Проте пізніше різко загострилася хвороба серця, якої він страждав з дитинства. Позначилося також величезна перевтома від напруженої і нервової роботи. Лікарі категорично заборонили йому працювати, і, замість Петербургу, він був змушений виїхати на лікування до Швейцарії. Він був змушений написати директору інституту лист жалючі про неможливість зайняти пост декана через погане здоров'я. Після лікування, пропрацювавши до 1919 р. його останнім бажанням було навчати студентів вищого технічного училища, проте важка хвороба і перенавантаження змусили 15 листопада цього ж року піти з життя.

Завдяки електротехніці стали можливі такі процеси як зварювання, отримання плазми, очищення газів і матеріалів, плавлення металів, а також інші процеси. У сучасному світі саме електрична енергія робить життя людини такою, якою ми звикли бачити її кожен день. Без енергії сучасний світ існувати не може. Її застосування постійно розширюється. Надалі все більше виробничих процесів буде автоматизовано. Це задає більш глибокого впровадження електротехніки в виробництво. Роль електричної енергії в житті людини тільки зростатиме і світу потрібні такі талановиті вчені як Доливо-Добровольський Михайло Йосипович.

**ТАЛАНТЛИВЫЙ САМОУЧКА – ОЛИВЕР  
ХЭВИСАЙД**  
**Национальный технический университет «ХПИ»**  
**Ст. В.В. Дементьева**  
**Рук.: доц. А.Н. Андреев, ст. пр. О.Н. Андреева**

«... Часть нас самих живет после нас,  
растворенная более или менее во всем  
человечестве и во всей природе...»  
Оливер Хэвисайд

Хэвисайд Оливер – английский физик и математик, член Лондонского общества, о котором еще при жизни рассказывали легенды.

Оливер Хэвисайд родился 18 мая 1850 г. в Лондоне в не очень состоятельной семье художника и был младшим из четырех сыновей. Оливер закончил в 1866 г. неполную общедоступную среднюю школу.

В конце 1865 г. Хэвисайд сдавал экзамены перед коллегией наставников, по результатам которых был пятым из 500 претендентов на сдачу экзаменов в колледж, а по естественным наукам – первым, за что ему присудили специальную премию. Но он получил очень низкую оценку на экзамене по евклидовой геометрии (15% от максимального возможного числа очков).

*"Самое худшее – это евклидова геометрия, – писал Хэвисайд впоследствии. – Поразительно, что молодые люди должны забивать себе голову всякими логическими вывертами и пытаются понять доказательство одного очевидного факта посредством другого, в равной степени... очевидного, ощущая в себе зарождающуюся неприязнь к математике, вместо того, чтобы изучать геометрию, один из наиболее важных и фундаментальных предметов".*

Исходя из того, что геометрия – наука экспериментальная, Хэвисайд считал, например, что число  $\pi$  должно измеряться, как и площадь круга, эллипса и как другие геометрические характеристики. Тем самым полагая, что, если убедиться в справедливости геометрической теоремы с помощью измерения, то теорема усвоит лучше, чем при чисто логическом обосновании.

В 1868 г. Оливер занялся экспериментами по электричеству. Он оборудовал в доме отца лабораторию, где были элементы питания, измерительные приборы, телеграфное, телефонное и другое лабораторное оборудование. Его первые работы были посвящены точному измерению сопротивлений, в которых он выступал и как экспериментатор, и как теоретик. В частности, его работа, опубликованная в фев-



рале 1873 г. в журнале "Philosophical Magazine", была посвящена наилучшему подбору сопротивлений в схеме типа мостика Уитстона.

С 1873 по 1876 г. Хэвисайд опубликовал серию статей, в которых была обоснована возможность дуплексной телеграфии: одновременной передачи одного сообщения и приема другого по одной и той же телеграфной линии. Хэвисайд практически осуществил дуплексную телеграфную связь в 1873 г.

В 1876 г. Оливер Хэвисайд, которому тогда было 26 лет, уже получил известность в кругах специалистов и был избран в совет Общества телеграфных инженеров (членом-корреспондентом этого общества он стал двумя годами ранее, в 1874 г.). Но в 1881 году он не смог заплатить членские взносы, и был удален из списков участников.

Хэвисайд в своих статьях ввел понятие потока электромагнитной энергии, которое несколько раньше независимо ввел Пойнтинг. Оливер разобрал ряд случаев, в которых энергия переносится полем и показал, что тепло, выделяющееся в проводнике при прохождении электрического тока, создается за счет энергии поля, окружающего проводник. Так же ему принадлежит широко известный, вывод закона сохранения энергии для электромагнитного поля, который приводится во всех учебниках по теории электромагнитного поля, это – вывод, впервые сделанный Хэвисайдом (а не Пойнтингом).

Рассматривая прохождение переменного электрического тока по проводнику, Хэвисайд теоретически показал, что ток неравномерно заполняет проводник. Величина тока растет по мере приближения к поверхности проводника. Чем быстрее меняется ток со времени, тем сильнее он вытесняется на поверхность проводника. Это явление позднее получило название "скин-эффекта". Через год скин-эффект был обнаружен экспериментально Юзом.

Многие сложнейшие физические и математические результаты Хэвисайд получал, применяя новые необычные методы, которые сам и разрабатывал, и поэтому его работы подвергались суровой критике. Оливеру возражали, как именитые ученые того времени так и редакторы научных журналов. Так журнал "Electrician" в течение четырех лет не публиковал работы Хэвисайда, потому что их никто не читает.

В 1889 г. в журнале "Philosophical Magazine" Хэвисайд опубликовал статью, где среди результатов была приведена формула:

$$\mathbf{F} = q [\mathbf{u} \times \mathbf{B}],$$

здесь  $\mathbf{F}$  – сила, действующая на заряд величины  $q$ ,  $\mathbf{u}$  – скорость заряда;  $\mathbf{B}$  – индукция магнитного поля. Это выражение было получено Лоренцом в 1892 г., т.е. тремя годами позднее. Тем не менее, сила, действующая на заряд в магнитном поле, называется "силой Лоренца". Про-

фессор Уиллис Джексон, упоминая об этом в своем исследовании "Вклад Хэвисайда в электромагнитную теорию", обращает внимание на то, что Хэвисайд не представил подробного вывода этой формулы. Действительно, Хэвисайд нередко приводит в своих статьях лишь результат, не поясняя, а иногда и не приводя хода вычислений. Частично это объясняется тем, что от него требовали сокращений. Но иногда и сам Хэвисайд не заботился о пояснениях.

Кроме того Хэвисайд рассматривал возможности существования электромагнитных волн и особенности их распространения по проводам, вдоль телеграфной или телефонной линии. Из проведенных исследований появилась высокая теория, которая обернулась в важные практические советы. Согласно Хэвисайду электромагнитные волны уже существовали в реально действующих линиях связи, а условия распространения этих волн определяются параметрами линии связи.

В работе 1889 г. Хэвисайд вычислил полную энергию электромагнитного поля, образованного равномерно движущимся электрическим зарядом и исследовал изменения поля заряда, движущегося в среде со скоростью, превосходящей скорость света.

В 1892 г. издательство "Макмиллан" издало сборник "Electrical papers" ("Работы по электричеству"). Этот двухтомник содержал практически все работы Хэвисайда по электричеству, опубликованные до 1891 г.

В 1893 г. вышел второй том "Электромагнитной теории". Этот том содержит работы Хэвисайда, выполненные, и опубликованные с 1893 по 1898 г., в которых кроме физических проблем разбирались также эффективные математические методы, разработанные Хэвисайдом, в первую очередь операционное исчисление.

Трудности, которые пришлось испытать Хэвисайду, усугублялись еще трудностями его характера. Он никогда не гнался за личной выгодой. Он прожил всю жизнь на грани нужды, а в конце жизни, последние 8 - 10 лет жил в нужде. Он вел жизнь затворника, занимаясь только наукой. Склонный к уединению, он уклонялся от встречи, предпочитая переписку.

В 1896 г. Хэвисайду была назначена королевская пенсия в 120 фунтов в год "принимая, во внимание его работы по теории электричества".

В 1899 г. профессор Колумбийского университета Майкл Пьюпин создал первую линию связи, нагруженную по Хэвисайду.

Хэвисайд остался равнодушен к квантовой физике. Он дожил до 1925 г., т.е. был современником появления теории излучения нагретых тел, созданной Планком, теории фотоэффекта Эйнштейна, квантовой

теории Бора. Эта область физики совершенно не интересовала его. Все его физические интересы до конца жизни были связаны с классической электродинамикой.

В третьем томе "Электромагнитной теории" всего две главы. Первая из них – "Волны от движущихся источников" – содержит исследования, посвященные определению электрического и магнитного полей, возникающих при движении зарядов и токов в преломляющей среде.

Вторая глава называется "Волны в эфире", т.к. Хэвисайд считал, что электромагнитные волны распространяются в особой среде – эфире. Так он и писал: вместо "волны в вакууме" – "волны в эфире". В этой главе излагается целый ряд проблем, не всегда связанных друг с другом.

К концу жизни Хэвисайд тяжело болел и 03.02.1925 г. скончался.

Пожалуй, главная причина всех этих несправедливостей судьбы по отношению к Хэвисайду была в том, что он намного опередил свое время.

Он родился в одной из лондонских трущоб, у него не было университетского образования, за исключением шести лет работы в телеграфной компании, он был безработным. Однако благодаря своему таланту и целеустремленности Оливер Хэвисайд стал одним из ведущих физиков. Он развил теорию электромагнитного поля Максвелла, открыл принцип передачи сигналов на дальние расстояния, что позволило осуществить дальнюю телефонную связь, высказал идеи, предвосхитившие телевидение, радиосвязь и некоторые аспекты теории относительности Эйнштейна. Он умер непризнанным и непонятым своими современниками.

#### Список литературы:

1. Б.М. Болотовский, Оливер Хэвисайд, М. Изд. "Наука", 1985 г.;
2. П. Дж. Нахин, Оливер Хэвисайд. Изд. "В мире науки", № 8, 1990;
3. Баранов М. И., Оливер Хэвисайд и его вклад в мировую сокровищницу науки, Х. Изд. "Электротехника и Электромеханика", №4, 2005 г.;
4. В.П. Самохин, Е.А. Тихомирова Памяти Оливера Хэвисайда (1850 – 1925) // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2015., № 2. С. 1 – 29.

## КЛЮЧОВІ ЕТАПИ РОЗВИТКУ ВЧЕННЯ ПРО ЕЛЕКТРИКУ

*Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»*

*Ст.: В. Даниленко, В. Яценко*

*Кер. доц. С.Д. Гапченко*

Про електричні і магнітні явища було відомо ще в Древній Греції. Так древньогрецьким натурфілософам була відома властивість натертого бурштину притягати легкі тіла. Саме слово «електрика» походить від грецького слова «електрон», що в перекладі означає бурштин. Та в ті часи експериментальні дослідження електричних та магнітних властивостей тіл не проводилися. Греки, започаткувавши дедуктивний метод, намагалися пояснювати властивості тіл із загальних принципів.

Перші достовірно відомі згадки про електричні і магнітні явища пов'язані з іменем видатного англійського фізика і лікаря лейб-медика королеви Єлизавети Вільяма Гільберта.

Гільберт вперше встановив, що при терті електризуються не тільки бурштин, але й діамант, сірка та деревна смола. Одночасно він встановив, що деякі речовини, наприклад, метали, каміння, кістка не електризуються. Він також першим почав систематично досліджувати властивості тіл, що електризуються.

У 1650 році відомий німецький вчений, бургомістр міста Магдебурга, винахідник повітряного насоса Отто фон Геріке побудував спеціальну «електричну машину» (рис. 1). Це була куля із сірки розміром як дитяча голова, що була насаджена на вісь. Якщо під час обертання кулі, її натирали долонями рук, то вона швидко набувала властивості притягати і відштовхувати легкі тіла. Протягом декількох

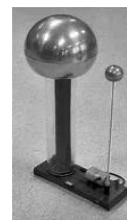


Рис. 1 –  
Електрична  
машина фон  
Геріке, яка була  
удосконалена  
Ван-дер-Граафом

століть машину фон Геріке удосконалювали англієць Гоксбі, німецькі вчені Бозе, Вінклер та інші.

Як результат дослідів з цими машинами були зроблені наступні важливі відкриття:

- у 1707 році французький фізик дю Фей встановив різницю між електрикою, яка отримується внаслідок тертя скляної кулі і електрикою, яка з'являється внаслідок тертя диска із деревної смоли;

• у 1729 році англійські вчені С. Грей і Т. Уїлер встановили здатність деяких тіл проводити електрику і вперше започаткували поділ речовин на провідники і непровідники електрики.

У 1729 році П. Мушенбрук — професор математики і філософії в Лейдені — виявив, що скляна банка, яка обклеєна з обох сторін олов'яною фольгою (листочками станіоля), здатна накопичувати електрику. Заряджений до певного потенціалу (потенціал — більш пізній термін), цей пристрій міг бути розрядженим із значним ефектом — утворювалася яскрава потужна іскра, яка супроводжувалася потужним тріском, що нагадувало розряд блискавки. Дотик до обклашок банки руками викликав фізіологічний ефект. Цей пристрій отримав назву від міста, де жив Мушенбрук. Його назвали лейденською банкою (рис. 2). Для пояснення результатів дослідження



Рис. 2 —  
Лейденська  
банка.  
Паралельне  
з'єднання  
чотирьох

властивостей лейденської банки, які виконувалися вченими різних країн, було запропоновано багато теорій. Найбільш плідною була теорія, яку запропонував американський дослідник Бенджамін Франклін. Він допустив існування позитивної і негативної електрики.

На основі цих явлень він пояснив процес зарядки лейденської банки і довів, що її обклашки можна довільно електризувати різними за знаком електричними зарядами.

Франклін, а також російські вчені М. В. Ломоносов та Г. Ріхман багато часу приділяли дослідженню атмосферної електрики та грозового розряду (блискавки). Як відомо Ріхман загинув, виконуючи дослідження властивостей блискавки. У 1752 році Франклін винайшов блискавковідвід (більш поширена назва «гromовідвід») — пристрій, який встановлюється на будинках і спорудах і слугує для захисту від ударів блискавки.

Широкі системи дослідження електричних явищ були виконані французьким фізиком Ш. Кулоном. Результати його досліджень були викладені у семи мемуарах, робота над якими була завершена у 1789 році. Найважливішим результатом було встановлення фундаментального закону електростатики, який визначав силу взаємодії двох нерухомих точкових зарядів. Закон було названо в його честь законом Кулона. Зазначимо, що встановити цей закон йому вдалося завдяки розробленим ним же крутильних вагів. Цей пристрій забезпечив чутливість, безпрецедентну для XVIII сторіччя.

Окрім цього закону він дослідив явище витоку заряду і встановив експоненційний закон спадання заряду з часом; дослідив питання розподілу електричного заряду між тілами і довів, що «електричний флюїд поширюється у всіх тілах згідно до їхньої форми»; визначив густину заряду на різних ділянках поверхні цих тіл.

У 1771 році італійський анатом і фізіолог Луїджі Гальвані почав досліджувати тваринну електрику: встановив і дослідив феномен скорочення м'язів препарованої жаби під впливом електричного струму; спостерігав скорочення м'язів, приєднаних металевим дротом до нервів чи спинного мозку; звернув увагу на те, що м'яз скорочується під час одночасного дотикання до нього двох різних металів. Гальвані пояснив ці явища існуванням «тваринної електрики», завдяки якій м'язи скорочуються подібно до лейденської банки. Ці результати були викладені в 1791 році в «Трактаті про сили електрики при русі м'язів». Ефект, відкритий Гальвані, отримав назву «гальванічного ефекту».

Досліди Гальвані було правильно пояснені італійським фізиком А. Вольта. Вольта продовжив досліди Гальвані і встановив, що причина електричного струму не в м'язах чи нервах препарованої лапки, а у застосуванні двох різних металів. Рідини у тканинах лапки слугують провідником. Він почав експериментувати з різними металами, досліджуючи їхні електричні властивості. Вимірювальним інструментом йому слугував язик. Вольта перебрав усі можливі комбінації металів і звів їх у таблицю, де положення металу відповідало силі електричної реакції. Він встановив, що гальванічний ефект можна посилити, якщо поміж металами помістити рідину. Результатом його роботи стало створення приладу, який прославив його — вольтова стовпа.

Досліди з електричним струмом викликали інтерес у багатьох вчених. У 1802 році італійський вчений Романьозі виявив відхилення магнітної стрілки під впливом електричного струму, який протікав поблизу стрілки. Наприкінці 1819 року це явище було заново відкрито данський фізиком Х.-К. Ерстедом. На початку 1820 року він опублікував «Досліди, які відносяться до дії електричного конфлікту на магнітну стрілку». У цьому творі «електричним конфліктом» було названо електричний струм.

В подальшому дослідженнями електричних явищ займалися багато вчених. Але кістяк вчення про електрику було сформовано саме в роботах вчених, які досліджували електричні явища протягом XVII-XIX сторіччя.

## ГЕОРГИЙ ГАМОВ – ТРИЖДЫ НЕЛАУРЕАТ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст.: А.С. Гуреева, К.С. Бублик*

*Рук.: ст.пр. Е.Б. Алмазова, асс. Н.А. Сухина*

В этом году будет отмечаться 85 лет с того дня, как 10 октября 1932 г. в Украинском физико-техническом институте (УФТИ) было расщеплено ядро атома лития. Харьковские физики А.Лейпунский, К.Синельников, А.Вальтер и Г.Латышев пришли к этому достижению вторыми. На 5 месяцев они отстали от Дж.Кокрофта и Э.Уолтона, сотрудников физической лаборатории знаменитого Э.Резерфорда, удостоенных впоследствии Нобелевской премии. Дважды одно открытие не делается, но успешное повторение результата говорило о выходе советских исследователей на передовые научные рубежи.

История той увлекательной гонки пионеров ядерной физики известна: никакой секретности в начале 30-х гг. прошлого века еще не было. Английские и советские исследователи были желанными гостями друг у друга, щедро делились опытом. Менее известно, вернее намеренно забыто, что у истоков обоих опытов стоял один человек – Георгий Гамов, 113-летие со дня рождения которого отмечалось в марте этого года. Инициатору одного из эпохальных экспериментов XX века было на тот момент всего 27 лет! А теория, что легла в основу, была разработана Гамовым в 24-летнем возрасте.

Георгий (Джордж) Гамов родился в Одессе 4 марта 1904 года в семье преподавателей Одесской гимназии. Детство, которое пришлось на годы Первой мировой войны, революции, гражданской войны и интервенции, Георгий провел в Одессе. Там же поступил в университет. Затем Гамов перевелся в Ленинградский университет, который закончил в 1926 году. Встреча 20-летнего студента с профессором А.Фридманом дала Георгию первый импульс к его работам рубежа 40–50-х годов, в которых он обосновал свою концепцию Большого Взрыва и так называемой «горячей Вселенной».

В конце 20-х, воображение Гамова пленили горизонты едва зародившейся квантовой механики. В 1928–1931 гг. перспективный выпускник ЛГУ на стипендию Наркомпроса проходит стажировку в Геттингене, Копенгагене и Кембридже. Уже в 1928 г. вчерашний студент получает всемирное признание среди крупнейших физиков своей

теорией радиоактивного  $\alpha$ -распада. В ней Гамов ввел понятие квантового туннелирования частицы сквозь потенциальный барьер атомного ядра, что имело ряд важнейших теоретических и практических последствий. Одно из них объясняло природу термоядерного плавного горения звезд (а не взрывного), другое позволило Гамову вывести формулу, вносящую ясность в экспериментально установленную зависимость периода полураспада ядер от энергии вылетающих из них  $\alpha$ -частиц. Эта же идея, обращенная как бы в противоположную сторону, подсказала Гамову способ разрушения атомного ядра искусственно ускоренными протонами.

Авторитет и письмо великого Нильса Бора, который сразу понял идею Гамова, заставили в 1929 г. Резерфорда дать «добро» на сооружение ускорителя протонов, что и привело Кокрофта и Уолтона к Нобелевской премии. Гамов в Кембридже принял самое активное участие в постановке задачи для английских экспериментаторов. В 1931 г. Гамов возвращается в Ленинград в Физико-технический институт, где директором был А. Йоффе. Йоффе не только создал ленинградский физтех, он же стоял и у истоков УФТИ. Созданный в тогдашней столице Украины институт был призван обеспечить связь науки с быстро развивавшейся индустрией. Одним из направлений работы бывших ленинградских, а теперь уже харьковских физиков стало создание промышленной высоковольтной аппаратуры. Это было наиболее узким местом при реализации идеи Гамова: построить протонный электростатический ускоритель. Хотя ленинградско-харьковский задел в области создания высоковольтной техники превосходил первоначальный потенциал кембриджской группы, у англичан был гораздо больший опыт ядерных исследований. Только летом 1931 г. (после недельного визита в УФТИ приехавшего из Кембриджа Кокрофта) в плане института появился пункт о создании установки для расщепления атомного ядра. Считалось, что Гамов в Харькове бывал только наездами в командировках, т.к. сам Георгий Антонович в автобиографии «Моя мировая линия» о постоянной жизни в Харькове не упомянул. Но историк УФТИ доктор физико-математических наук Ю. Ранюк отыскал в архивах документы о приеме Гамова на работу в институт на должность научного консультанта. Ему была даже предоставлена служебная квартира, так что в какой-то мере харьковчане могут считать его своим земляком. В Харькове Гамов занимался тем же, чем и в Кембридже, — консультировал научных сотрудников, готовящих эксперимент по расщеплению ядра.

Руководство УФТИ отрапортовало о научном достижении «бригады ударных напряжений» телеграммой на имя товарищей Сталина,

Молотова, Орджоникидзе и в редакцию газеты «Правда», подписанной директором института академиком И. Обреимовым.

В 1931 году директор Радиевого института академик В. Вернадский выдвинул 27-летнего Гамова в Академию наук, и в 1932 году он становится самым молодым в ее истории членом-корреспондентом. Но академиком АН СССР ему не суждено было стать...

Гамов обладал не только выдающейся физической, но еще и политической интуицией. Задолго до «большого террора» он почувствовал, что ситуация в стране меняется. Ему отказали в выезде в Рим на I международный конгресс по ядерной физике. За него доклад прочел его приятель, будущий нобелевский лауреат М. Дельбрюк. Фундаментальный квантово-механический принцип неопределенности Гейзенберга, лежащий в основе всех гамовских теорий, был объявлен противоречащим диалектическому материализму. Гамову запретили публично упоминать его в своих докладах.

Такая личная и творческая несвобода Гамова категорически не устраивала. Он с супругой Л. Вохминцевой предпринял безумную попытку бежать в Турцию на байдарке. Бегство не удалось - попали в бурю. Была безуспешная попытка «туннелирования» сквозь советско-норвежскую границу во время «лыжной прогулки» на Кольском полуострове.

Благоприятный случай представился в 1933 году, когда Гамова включили в официальный состав советской делегации на Сольвеевский конгресс в Брюсселе. Жене разрешение на выезд не дали. Гамов поставил ультиматум: без супруги не поеду. За его благонадежность поручились лично академик Йоффе и организатор конгресса, почетный член АН СССР и член ЦК Компартии Франции П. Ланжевен. При посредничестве Н. Бухарина Гамов принял в Кремле сам В. Молотов и лично разрешил выезд обоим супругам. На конгрессе Гамов сказал Ланжевену, что не намерен возвращаться в СССР. С огромным внутренним сопротивлением Ланжевен благословил его начать новую жизнь на Западе. Так Гамов стал первым советским ученым-невозвращенцем.

Гамов вскоре из Европы перебрался в Америку. И хотя он продолжал работать исключительно продуктивно, формально «первую скрипку» не играл. Наивысшей наградой для него стала премия ЮНЕСКО за популяризацию науки. В литературе Гамов не знал равных еще со времен студенческих «Отбросов науки», от которых берут начало знаменитые сборники «Физики шутят».

Склонность к розыгрышам Гамов сохранял всю жизнь. Так в 1950г. Гамов написал совместную работу со своим аспирантом

Р. Альфером и решил, что для полной гармонии коллективу авторов не хватает Бете, которого он без его ведома включил в соавторы. Погречески коллектив звучал замечательно: Альфер, Бете, Гамов! Именно в этой работе под шутливым названием а-б-г-теории содержалось предсказание реликтового излучения, возникшего в момент Большого Взрыва в гамовской модели «горячей Вселенной». Это было дальнейшее развитие идей его учителя Фридмана. Гамов смог рассчитать современную температуру этого излучения — порядка 5 градусов по абсолютной шкале Кельвина. Американский физик Р. Дикке пытался проверить гипотезу Гамова, но его радиоаппаратура оказалась слишком «шумящей». Успех пришел к радиоинженерам компании Bell А. Пензиасу и Р. Вилсону. В 1965 г. они создали малозумящие приемники для спутниковой связи, но не могли избавиться от остаточного радишума с температурой около 3 К. В группе Дикке сразу поняли, что обнаружено реликтовое излучение и объяснили результат Пензиаса и Вилсона. В 1978 г. инженеры Пензиас и Вилсон за это открытие стали лауреатами Нобелевской премии по физике. Гамов и Дикке никак отмечены не были. Третье крупнейшее достижение Гамова не относится к чистой физике, а находится на стыке физики, биологии и теории информации. Когда Дж. Уотсон и Ф. Крик открыли в 1953 г. «двойную спираль»- структуру молекулы ДНК- открылся новый мир молекулярной генетики. Гамов обратил внимание, что генетический код 20 нуклеиновых кислот, из которых устроено все живое, написан алфавитом, в котором всего четыре буквы. Гамов математически доказал, что слова этого языка могут быть только трехбуквенными, т.е. являться теорией кодирования! Был сделан важнейший шаг к осмыслению полученных Уотсоном и Криком результатов, впоследствии ставших нобелевскими лауреатами по биологии.

Американские секретные службы Гамову не доверяли по анкетно-бюрократическим причинам: в 1924 году Гамов преподавал в Ленинградской артиллерийской школе и числился командиром запаса Красной Армии. К созданию ядерной бомбы он привлечен не был, а работы по созданию термоядерной бомбы возглавил его ученик — эмигрант из Венгрии Э. Теллер. Гамов шутил, что без него дело все равно не обошлось: не пригласи он Теллера в 1935 году в США, то супербомбы наверняка не было бы. Позже, однако, Гамова допустили к термоядерному проекту.

В последние годы Гамов тяжело страдал от нарушений сердечно-сосудистой системы, перенёс несколько операций. Гамов умер в Боулдере 19 августа 1968 г., там же находится его могила.

## ЛАЗЕРНА ТЕХНОЛОГІЯ ПОДІЛУ ІЗОТОПУ $^{11}\text{C}$ ДЛЯ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ У ПЕТ-ДОСЛІДЖЕННЯХ

*Харківський національний медичний університет*

*Ст. А. Е. Ашуров*

*Кер. доц. Г.О. Човпан*

Позитрон-емісійний томограф (ПЕТ) – це прилад, що реєструє у режимі збігів  $\gamma$ -випромінювання двох  $\gamma$ -квантів з енергією 511 keV, що утворюються при анігіляції електрона середовища та позитрона, випромінюваного при розпаді  $\beta^+$ -радіоактивного ізотопу. При цьому позитрон загальмовується в тканинах і анігілює з електроном, утворюючи пару  $\gamma$ -квантів, що розлітаються в протилежних напрямках, які уловлюються детектором. Детектор працює за принципом схеми збігів – для виключення випадкових спрацьовувань (наприклад, проліт частинки космічного випромінювання) враховуються тільки події, коли масивом детекторів зафіксовано одночасно два  $\gamma$ -кванта. Спрацювавши, два детектора визначають пряму, на якій лежала точка анігіляції – тобто точка накопичення «мічених» ізотопом молекул. Набором статистики та її комп'ютерною обробкою вдається за безліччю таких комбінацій побудувати карту щільності розподілу накопичених «мічених» молекул. Також розглядаються можливості використання  $\beta$ -випромінювання та його іонізуючої дії для проведення локальної протиракрової променевої терапії.

Методи позитрон-емісійної томографії займають особливе місце в ядерній діагностиці. На відміну від класичних методів (таких як комп'ютерна та магнітно-резонансна томографії), що дозволяють отримувати зображення тільки анатомічних структур і змін в них, ПЕТ дозволяє проводити кількісний аналіз біохімічних або фізіологічних функцій. Ця інформація часто дозволяє виявити функціональні зміни, викликані захворюванням, задовго до появи будь-яких морфологічних змін. Зокрема, ПЕТ – єдиний апарат, що дозволяє діагностувати пухлину на "нульовій" стадії.

Основні радіонукліди, які використовуються в клінічних дослідженнях, це Карбон  $^{11}\text{C}$ , Нітроген  $^{13}\text{N}$ , Оксиген  $^{15}\text{O}$  і Фтор  $^{18}\text{F}$ , оскільки ці хімічні елементи є майже у всіх органічних сполуках у тілі людини. Також у ПЕТ-дослідженнях використовуються стабільні ізотопи кисню  $^{18}\text{O}$  та вуглецю  $^{13}\text{C}$  для ранньої діагностики раку. Крім того, бажано використовувати позитронні емітери з низькою максимальною ене-

ргією  $\beta$ -частинок, що дозволить підвищити просторову роздільну здатність зображення.

Необхідність масового використання медичних препаратів мічених ізотопом  $^{11}\text{C}$  для діагностичних цілей потребує суттєвого підвищення його світового виробництва до сотень кілограмів в рік. На жаль, вартість його отримання традиційними методами дуже висока. Більш перспективною в цьому сенсі є лазерна технологія поділу стабільних ізотопів елементів середніх мас, яка при виробництві ізотопу  $^{11}\text{C}$  дає можливість істотно знизити собівартість.

Поділ стабільних ізотопів – технологічний процес зміни ізотопного складу речовини, що складається з суміші різних ізотопів одного хімічного елемента. З однієї суміші ізотопів на виході процесу отримують дві суміші: одна з підвищеним вмістом необхідного ізотопу (збагачена суміш), інша зі зниженим (збіднена суміш). Поділ ізотопів завжди пов'язаний зі значними труднощами, бо ізотопи, що представляють собою майже ідентичні за масою варіації одного елемента, хімічно поведуться практично однаково. Відмінності в поведінці ізотопів настільки малі, що за одну стадію поділу, речовина збагачується на соті частки відсотка і повторювати процес поділу доводиться знову і знову – величезна кількість разів. Технологічно це здійснюється послідовним пропуском певного обсягу ізотопів через однотипні осередки, які здійснюють поділ – каскади. Для отримання необхідного поділу, каскадів може бути послідовно кілька тисяч, а для отримання необхідного обсягу, потребуються десятки і сотні тисяч таких послідовних груп каскадів включених паралельно.

Саме тому використовується лазерна технологія поділу стабільних ізотопів. Лазерний поділ не є самостійним методом, але використовується для поліпшення характеристик електромагнітного або хімічного методів поділу. Метод заснований на виборчій іонізації одного з ізотопів електромагнітним випромінюванням (наприклад, світлом лазера). Вибірковість іонізації заснована на резонансному (вузькополосному) поглинанні світла атомами: різні ізотопи мають різний спектр поглинання випромінювання. Це означає, що можна підібрати такі параметри опромінення, при яких переважно іонізуються атоми заданого ізотопу. Після цього іонізовані атоми можуть бути відокремлені, наприклад, в магнітному полі. Крім того, іонізація атомів може змінювати швидкість хімічних реакцій, полегшуючи розпад деяких хімічних сполук, тим самим збільшуючи вихід потрібного ізотопу.

Таким чином, виробництво високозбагаченого ізотопу  $^{11}\text{C}$  по комбінованій технології, при якій збагачення проводиться у дві стадії:

1) На першій (лазерній) стадії здійснюється селективна мультифотонна дисоціація молекул фреону (насиченого аліфатичного фторвмісного вуглеводню) за допомогою лазерного випромінювання з метою отримання цільової речовини з 30-35% вмістом  $^{11}\text{C}$  при продуктивності 3-х модулів до 1,5г/год (але при зменшенні продуктивності до 0,6г/год можна отримати 90% збагачення);

2) На другій стадії більш високе збагачення до 99,9% виходить традиційним способом на центрифугах. Важливо, що отримуваний за цією технологією  $^{11}\text{CO}_2$  містить знижену концентрацію важких ізотопів кисню в порівнянні з  $^{11}\text{CO}_2$ , одержуваних іншими методами (звичайне зміст  $^{18}\text{O}$  в  $^{11}\text{CO}_2$  – 5-7%). Одночасно продуктами є з'єднання, мічені стабільним ізотопом  $^{11}\text{C}$ :  $\text{CO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ , Хладон-114B2 (1,1,2,2-тетрафтордіброметан) –  $\text{C}_2\text{F}_4\text{Br}_2$ ,  $^{11}\text{C}$ -сечовина:  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ .

Як можна побачити, лазерний метод поділу ізотопу  $^{11}\text{C}$  відрізняється від традиційного наявністю першої стадії, на якій відбувається опромінення лазером субстрату з подальшою мультифотонною дисоціацією фреону, у такий спосіб здійснюючи вибірку іонізацію субстрату. Ця технологія поділу розвивається з 1970-х років багатьма країнами і вважається перспективною, проте все ще не вийшла за рамки дослідних робіт. Саме тому лазерна технологія поділу стабільних ізотопів виявляє величезний інтерес до себе та є особливою у галузі ядерного синтезу.

#### Список літератури:

1. N.P. Dikiy, A.N. Dovbnya, Y.V. Lyashko, E.P. Medvedeva, Y.D. Tur, V.L. Uvarov. Production of medical isotopes at electron accelerators // Питання атомної науки і техніки. Серія «Ядерно-фізичні дослідження», 2000. с. 58-61.
2. V. Shivarundrappa. High Purity Materials as Targets for Radioisotope Production: Need and Challenges // International Symposium on "Ultracure Materials: Processing, Characterization, Applications (ISUM)". November 22-23, 2004. Hyderabad, India. P. 1-29.
3. И. В. Карлов, А. М. Прохоров. Лазерный поділ ізотопів // Успіхи фізичних наук, 1976. Том 118, вип.4. С. 583-608.

## ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

### Национальный технический университет «ХПИ»

Ст.: А.А Чалый, Д.В. Возруд  
Рук.: доц. Л.Г. Петренко, доц. В.И. Белозерцева

Лазер – один из мощнейших инструментов современной науки. Невозможно перечислить все области его применения, так как каждый день для лазера находят новые задачи [1].

В основу лазеров положено явление индуцированного излучения, существование которого было предсказано Эйнштейном в 1917 году. По Эйнштейну, наряду с процессами обычного излучения и резонансного поглощения существует третий процесс - вынужденное (индуцированное) излучение. Свет резонансной частоты, то есть той частоты, которую атомы способны поглощать, переходя на высшие энергетические уровни, должен вызывать свечение атомов, уже находящихся на этих уровнях, если таковые имеются в среде. Характерная особенность этого излучения заключается в том, что испускаемый свет неотличим от вынуждающего света, то есть совпадает с последним по частоте, по фазе, поляризации и направлению распространения. Это означает, что вынужденное излучение добавляет в световой пучок точно такие же кванты света, какие уводит из него резонансное поглощение. Лазеры являются уникальными источниками света. В противоположность, например, обычной электрической лампочке, электромагнитные волны, зарождающиеся в различных частях оптического квантового генератора, удаленных друг от друга на макроскопические расстояния, оказываются когерентными между собой. Это значит, что все колебания в различных частях лазера происходят согласованно.

Оптические квантовые генераторы и их излучение нашли применение во многих отраслях промышленности. Так, например, в промышленности наблюдается применение лазеров для сварки, обработки и резки металлических и диэлектрических материалов и деталей, в приборостроении, машиностроении и в текстильной промышленности [2]. Лазерное сверление широко применяется при получении отверстий в материалах, обладающих повышенной хрупкостью. В качестве примера можно привести подложки микросхем, изготовленные из глиноземной керамики. Из-за высокой хрупкости керамики механическое сверление выполняется на "сыром" материале [3].

В настоящее время в мире существует несколько десятков лазерных локационных систем [4]. Многие из них уже имеют космическое значение. Они осуществляют локацию Луны и геодезических ис-

кусственных спутников Земли. Проведение таких исследований организуется для того, чтобы точнее узнать расстояние до Луны в течение некоторого периода времени, например, в течение года. В медицине лазерные установки нашли свое применение в виде лазерного скальпеля. С появлением промышленных лазеров наступила новая эра в хирургии [5]. При этом пригодился опыт специалистов по лазерной обработке металла. Приваривание лазером отслоившейся сетчатки глаза - это точечная контактная сварка; лазерный скальпель - автогенная резка; сваривание костей - стыковая сварка плавлением; соединение мышечной ткани - тоже контактная сварка.

В фотографии содержится более или менее точная информация об амплитудах зафиксированных волн, но полностью отсутствует информация о фазах волн. Голография позволяет устранить этот недостаток обычной фотографии и записать на фотопластинке информацию не только об амплитудах падающих на неё волн, но и о фазах, то есть полную информацию. Волна, восстановленная с помощью такой записи, полностью идентична первоначальной, содержит в себе всю информацию, которую содержала первоначальная волна. Поэтому метод был назван голографией, то есть методом полной записи волны [1].

В настоящее время лазерные технологии активно используются как средство записи и обработки больших объёмов информации. И здесь следует отметить появление принципиально нового вида носителя информации - компакт-диска. Интересно применение голографии в качестве носителя информации. Часто необходимо получить объемное изображение предмета, которого еще не существует, и, следовательно, нельзя получить голограмму такого предмета оптическими методами. В этом случае голограмма рассчитывается на ЭВМ (цифровая голограмма) и результаты расчета соответствующим образом переносятся на фотопластинку. С полученной таким способом машинной голограммы объемное изображение предмета восстанавливается обычным оптическим способом [6]. Лазеры уже сейчас прочно вошли в нашу жизнь, и они являются инструментом будущего.

[1] Матвеев А.Н. Лазеры в общем физическом практикуме, 1981.

[2] Лазерная техника сегодня и завтра // Наука и жизнь №6, 2002.

[3] Лазерная технология: подписная научно-популярная серия Техника №3/сост. Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, 1983.

[4] Зуев В.Е. Роль лазеров в исследовании атмосферы и океана // Наука в России №3, 1999.

[5] Плетнев С.Д. Лазеры в клинической медицине, 1981.

[6] Сивухин В. А. Общий курс физики. Оптика. - М.: Наука, 1980. - 752 с.

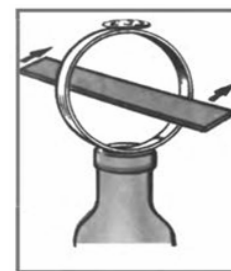
## ИНЕРЦИЯ ВОКРУГ НАС

**Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»**

**Ст.: А.Ю. Белозёров, Д.А. Леонтьев**

**Рук.: ст. пр. И.В. Галушак, доц. Ю.В. Меньшов**

Инерция (от лат. inertia — бездеятельность, косность, синоним: инертность) — свойство тел оставаться в некоторых системах отсчёта в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения в отсутствии или при взаимной компенсации внешних воздействий. Существование инерциальных систем отсчёта в классической механике постулируется первым законом Ньютона (законом инерции). Его классическую формулировку дал Ньютон в своей книге «Математические начала натуральной философии»: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует». Системы отсчёта, в которых выполняется закон инерции, называют инерциальными системами отсчёта. Все другие системы отсчёта (вращающиеся или движущиеся с ускорением) называются соответственно неинерциальными. Проявлением неинерциальности в них является возникновение фиктивных сил, называемых «силами инерции».



**Рис.1**

Пример инерции в действии. Гривенник и бумажное кольцо. Нам понадобится: длинная полоска из тонкого картона шириной 2—3 см, пустая бутылка, монета, линейка. Вырежьте из тонкого картона полоску шириной 2—3 см и склейте из нее кольцо диаметром 10—15 см. Положите его на горлышко пустой бутылки. На кольцо в верхней точке положите монету, а внутрь введите линейку и резким горизонтальным движением выбейте кольцо из-под монеты (Рис.1). Монета упадет в бутылку. Объяснение: при резком выбивании кольца из-под монеты время взаимодействия указанных тел мало, поэтому небольшая сила трения, действующая на монету, не может сообщить последней скорость в горизонтальном направлении. Практически монета сохраняет состояние покоя по инерции, но при удалении опоры падает в бутылку.

Опыт с молотком. Возьмите молоток, привяжите к нему достаточно крепкую, но тонкую нитку (чтобы она выдержала тяжесть молотка; если одна нитка не выдерживает, возьмите две нитки) и мед-



## ДВИГАТЕЛИ АВТОМОБИЛЕЙ XXI ВЕКА

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст.: Д.О. Ковальский, С.С. Твердохлеб*

*Рук.: ст. пр. И.В. Галушак, доц. Ю.В. Меньшов*

ленно поднимите его вверх. Молоток будет висеть на нитке. А если вы его поставите обратно на стол и захотите снова поднять, но уже быстрым рывком, нитка оборвется. Объяснение: Инертность молотка настолько велика, что нитка не выдержала. Молоток не успел быстро последовать за вашей рукой и остался на месте, на столе.

Опыт с шариком. Нам понадобится: шарик (металлический), высокая ваза (либо обрезанная бутылка), крупа или сухой песок. Берём вазу и помещаем на дно шарик, и засыпаем вазу на 2/3 песком. После чего берём готовую вазу в руки и держим на уровне груди. Резким движением опускаем вазу вниз и медленно поднимаем на исходную позицию. После нескольких таких движений шарик окажется наверху. Объяснение: при резком движении вниз, шарик по инерции остаётся

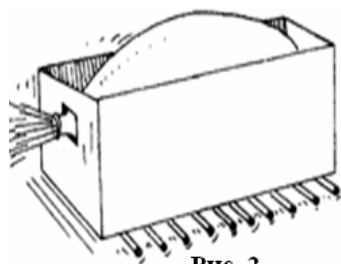


Рис. 2

на месте, и под ним образуется пустота, которая тут же заполняется песком, при нескольких таких манипуляциях шарик со дна поднимается на поверхность.

Трение и инерция. Нам понадобится: коробка из-под женских ботинок, ножницы, линейка, десять круглых фломастеров (или карандашей), воздушный шарик (приблизительно 20

см), стол (рис. 2). ПРОЦЕСС: 1. Вырезаем посередине меньшей стороны коробки отверстие в виде квадрата. 2. Помещаем воздушный шарик в коробку так, чтобы его отверстие выходило в квадратную дырочку. 3. Надуваем шарик и зажимаем его отверстие пальцами. 4. Помещаем под коробку фломастеры. 5. Отпускаем шар. ИТОГИ: Когда шар сдувается, коробка движется вперед. Когда воздух полностью вышел из шара, коробка продвигается еще на некоторое расстояние и останавливается. Объяснение: Коробка останется там, где стояла, если ее не толкнуть. Сдувающийся шарик подталкивает коробку вперед. Под воздействием этой силы коробка приходит в движение и движется до тех пор, пока противодействующая ей сила трения постепенно не остановит коробку.

### Литература:

1. Трофимова Т.И. Курс физики :учеб. пособие для вузов / – 11-е изд. – М. :Издательский центр «Академия », 2006. – 560 с., 2. Савельев И.В. Курс общей физики: [в 3 т.]. – М.: Наука, 1989.

Общее представление об электрическом транспорте появилось после того, как в 1831 году М. Фарадеем был открыт закон электромагнитной индукции. Первый двигатель, принцип работы которого основывался на данном законе, был разработан в 1834 году Борисом Якоби – русским физиком и изобретателем. В 1839 г. русский ученый Б.С. Якоби построил лодку с электромагнитным двигателем, который от 69 элементов Грове, имел мощность 1 лошадиную силу и двигал лодку с 14 пассажирами по Неве против течения. Это было первое применение электромагнетизма к передвижению в больших размерах. Первые автомобили с электродвигателями в качестве силовой установки появились еще в 1880-х годах. Популярность электромобилей на рубеже 19 и 20-го веков объясняется просто — по всем характеристикам двигателя внутреннего сгорания тех лет уступали электродвигателям. В дальнейшем, с увеличением мощности и значительной автономности бензиновых и дизельных ДВС об электродвигателях надолго забыли. Новая волна интереса к электромоторам относится к эпохе Великого нефтяного кризиса 70-х годов двадцатого века, однако ни один из представленных в то время образцов так и не дошел до массового серийного производства.

Преимущества электромобилей: 1) развиваемый крутящий момент, почти максимальный в зависимости от конструкции, с нуля оборотов; 2) отпадает необходимость в громоздкой и сложной КПП. Нет КПП - нет поломок, нет сцепления - нет поломок; 3) мотор эластичный на любых оборотах - обгоны и прочие ускорения всегда предсказуемы, не нужно выводить двигатель на определенные обороты, как на ДВС; 4) одна вращающаяся деталь на подшипниках, ломаться кроме как подшипникам – нечему; 5) система управления электромотором гораздо проще, чем система впрыска ДВС; 6) КПД электродвигателя в размерах автомобиля - не менее 90%. примерный КПД бензинового ДВС - 35%, дизеля - 40%; 7) выхлопных газов у электродвигателя нет; 8) размеры электродвигателя - по объему занимаемого в три раза меньше ДВС, при тех же технических характеристиках; 9) электродвигатель не требует такого сложного обслуживания, как ДВС (нет ни масла, ни фильтров, ни ремней ГРМ, ни клапанов, ни промывок фор-

сунок и т. п.), примерно каждые 200-250 тыс. км - замена подшипников, и каждые 2-3 года - замена охлаждающей жидкости (если электромотор жидкостного охлаждения); 10) технологический процесс изготовления электродвигателя гораздо проще и меньше себестоимость в 9 раз (!), чем изготовление ДВС аналогичной мощности.

Настоящим ренессансом для гибридов и электромобилей стало первое десятилетие двадцать первого века. С одной стороны, благодаря развитию электроники и компьютерных технологий появилась возможность контролировать и экономить заряд батарей, с другой, цены на нефтяное топливо постепенно подтолкнули потребителей к поискам альтернативных источников энергии. Чаще всего в бытовых приборах и в конструкции автомобиля встречаются так называемые магнитоэлектрические двигатели, которые подразделяются по типу потребляемой энергии на две группы — постоянного и переменного тока. Есть и универсальные двигатели, которые могут работать как от постоянного, так и от переменного напряжения.

Недостатки электромобилей: 1) малый пробег на одной зарядке; 2) достаточно долгая зарядка; 3) малый срок службы аккумуляторной батареи; 4) большой объем и вес батареи. По принципу возникновения вращающего момента электродвигатели можно разделить на гистерезисные и магнитоэлектрические. У двигателей первой группы вращающий момент создается вследствие гистерезиса при перемагничивании ротора. Данные двигатели не являются традиционными и не широко распространены в промышленности. Наиболее распространены магнитоэлектрические двигатели. Простейший электродвигатель можно сделать самому, имея под рукой медную проволоку, круглый магнит и батарейку

В качестве источников энергии используются литиевые аккумуляторы с  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  электродами. Аккумуляторы имеют время зарядки 10-15 минут. Существующие аккумуляторы имеют малую емкость 24 кВт·ч, (пробег приблизительно 160 км). Использование кондиционера, отопителя салона могут снизить пробег до 80 км. Рассматривается возможность использования в качестве источников тока суперконденсаторов, имеющих очень малое время зарядки, высокую энергоэффективность (более 95 %) и намного больший ресурс циклов зарядка-разрядка (до нескольких сотен тысяч). Опытные образцы на графене имеют удельную энергоёмкость 32 Вт·ч/кг, сравнимую с таковой для свинцовых аккумуляторов (30–40 Вт·ч/кг)

Литература: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Электромобиль>

## ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст. Д.А. Побережец*

*Рук. доц. Л.Г. Петренко*

В данный момент перед энергетикой возникают две существенные проблемы, а именно неэффективное использование ресурсов и их невозможность [1]. Еще в 1999 году потребление человеком природных ресурсов превысило способность Земли к их восполнению на 20%. Это означает, что для восстановления ресурсов, использованных людьми за 12 месяцев, природе потребуется более 14 месяцев. По некоторым оценкам, мировых запасов нефти хватит еще на 40-60 лет, газа - на 60 лет и более, а угля на 270 лет [2].

Кроме того, современные виды энергоустановок наносят огромный ущерб экологии, что также необходимо принимать во внимание. К примеру, ежегодно тепловые электростанции выбрасывают в атмосферу огромное количество отходов. При сжигании ископаемого топлива образуются продукты сгорания, содержащие оксид азота, серный и сернистый ангидрид, частички несгоревшего пылевидного топлива, летучую золу и газообразные продукты неполного сгорания.

Ближайшие перспективы решения вышеуказанных проблем и дальнейшего развития энергетики во всём мире связаны с поисками альтернативных неисчерпаемых источников энергии.

В Украине в условиях острого углеводородного кризиса становится особенно актуальным развитие альтернативных видов энергии – ветроэнергетики, солнечной и водной (гидроэнергетики).

Использование солнечного излучения.

Данный вид энергетики основан на преобразовании энергии солнечного света в тепловую (в гелиотермальных СЭС) или электрическую (в фотоэлектрических СЭС). Электростанции подобного рода устанавливаются на местности с высоким годовым количеством солнечной радиации [3]. В южных областях Украины из 365 дней в году примерно 240 дней ясных. Эти области очень перспективны для развития гелиоэнергетики. Уже сейчас в Херсонской области на почвах, являющихся непригодными для сельскохозяйственных нужд, возводится целый комплекс солнечных электростанций. Потенциал солнечной энергетики в области позволяет плани-



ровать сокращение потребления природного газа вдвое уже в ближайшие годы. Всё это вселяет оптимизм, однако есть немало проблем, связанных с необходимостью приобретения дорогостоящего оборудования в условиях сложной экономической ситуации в стране.

#### Использование энергии ветра.

Ветроэнергетика - это такая отрасль энергетики, которая специализируется на преобразовании кинетической энергии ветра в электроэнергию при помощи генератора. Ветроэнергетика является бурно развивающейся отраслью. К началу 2016 года суммарная мощность всех ветрогенераторов в мире достигла 432 ГВт, а на территории Украины находится 13 ветроэлектростанций, общая мощность которых 426 МВт [4].

#### Гидроэлектростанции.

В электростанциях подобного рода электроэнергия вырабатывается за счет потенциальной энергии падающей воды. Такие электростанции устанавливают на реках с быстрым течением и/или большими перепадами высот. Подобным способом в мире добывается около 20% всей электроэнергии [5]. Гидроэнергетика Украины началась с сооружения наибольшей в Европе Днепровской ГЭС (560 МВт), введенной в эксплуатацию в 1932 году. Сегодня основу большой гидроэнергетики Украины составляют ГЭС и ГАЭС, расположенные на Днепре и Днестре, а также на реке Южный Буг. Их общая мощность на конец 2014 г., по данным ассоциации Укргидроэнерго, составляет 5693,8 МВт.

Использование альтернативной энергетики в мире растет рекордными темпами, и, согласно принятой в Евросоюзе программе, до 2020 года доля её должна составить не менее 20%. Кабмин Украины в октябре 2014 года утвердил Национальный план действий по развитию возобновляемой энергетики до 2020 года, согласно которому через три года возобновляемыми источниками энергии в Украине должно вырабатываться не менее 11% электроэнергии (сегодня – пока только ~7%).

[1] Ушаков В.Я. Современные проблемы электроэнергетики: учебное пособие. Томский политехнический университет. Томск: Изд-во ТПУ, 2013.

[2] <https://rg.ru/2013/09/26/ugol.html>.

[3] Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: учебное пособие для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

[4] [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная\\_электростанция](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ветряная_электростанция).

[5] <https://ru.wikipedia.org/wiki/Гидроэлектростанция>.



## НАДТВЕРДІ МАТЕРІАЛИ

*Национальный технический университет «ХПИ»*

*Ст.: А.А. Фандеева, Д.Д. Остапчук*

*Кер. ст. викл. І.В. Галушак*

Надтвердими матеріалами називаються матеріали, які мають твердість вище 40 гігапаскалів. Число надтвердих матеріалів невелика, близько десяти, відомих на сьогодні. Твердість - це властивість, яке традиційно вимірюється шляхом дряпання, вимірюється гігапаскалях (ГПа).

Найтвердішим матеріалом є алмаз, але він не є найоптимальнішим. Справа в тому, що алмаз, по-перше, крихкий; по-друге, алмаз горить у кисневій атмосфері. Крім того, алмаз, звичайно, досить дорогий. Довгий час були спроби, які не припиняються і зараз, відкрити матеріал твердіший за алмаз. Поки що ці спроби успіху не мали.

Були різного роду спроби створення матеріалів твердіших за алмаз. Перша спроба була на основі фулеренів. Фулерени - це молекули, схожі на футбольний м'яч, порожнисті молекули, круглі або дещо подовжені. Зв'язки між цими молекулами дуже слабкі. Цей матеріал отримав назву ТІСНУМ в честь Технологічного інституту надтвердих і нових вуглецевих матеріалів.

Класичним надтвердим матеріалом, який досить широко застосовується, є кубічний полікристалічний нітрид бору, його твердість 40 ГПа. Нещодавно була відкрита структура, нова модифікація бору в 2009 році, і вона викликала колосальний резонанс. Структура виходить з додаванням невеликого тиску до звичайного бору і нагріванням його до високих температур. Цю форму назвали гамма-бор.

#### **Дослідження та актуальність надтвердих матеріалів**

Багато інститутів та лабораторій по всьому світу займаються синтезом і розробкою надтвердих матеріалів. Зокрема, це Інститут надтвердих матеріалів у Києві і ряд лабораторій на Заході. Активні розробки в цій області почалися з 50-х років, коли в Швеції та Америці вперше був отриманий штучний алмаз. Дослідження даної теми є досить актуальними: надтверді матеріали можуть використовуватися при різанні, поліруванні, шліфуванні, бурінні. При завданнях, які пов'язані із верстатобудуванням, з ювелірною справою, з обробкою каменю, розробкою родовищ, з бурінням і так далі, - це все вимагає надтвердих матеріалів.

## ЧИСЛЕННОСТЬ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЭКОЛОГИЯ

*Харьковский национальный аграрный  
университет им В.В. Докучаева*

*Ст. И.А. Угарова*

*Рук. проф. С.С. Авотин*

В 1798 году английский священник и учёный, демограф и экономист Томас Роберт Мальтус опубликовал книгу *Essay on the Principle of Population* («Очерк о законе народонаселения»). Основные тезисы «Очерка»: 1. физические способности человека используются для увеличения продовольственных ресурсов; 2. народонаселение строго ограничено средствами существования; 3. рост народонаселения может быть остановлен лишь встречными причинами, которые сводятся к нравственному воздержанию или несчастьям (войны, эпидемии, голод).

Мальтус сформулировал закон убывающего плодородия почвы – ни накопление капитала, ни научно-технический прогресс не компенсируют ограниченность природных ресурсов. Поэтому он приходит к выводу, что народонаселение растёт в геометрической прогрессии, а средства существования – в арифметической, поэтому неконтролируемый рост народонаселения должен привести к голоду на Земле. Идеи Мальтуса оказали позитивное воздействие на развитие биологии, во-первых, через их влияние на Дарвина, а, во-вторых, через развитие на их основе математических моделей популяционной биологии. Применительно к человеческому обществу мнение Мальтуса о том, что сокращение численности населения ведёт к увеличению среднего дохода на душу населения, повлекло за собой формирование в 1920-х теории оптимальной численности населения, при котором доход на душу населения максимален. Однако в настоящее время теория малоприменима в решении реальных социально-экономических задач, но позволяет судить о недо- или перенаселении.

Современные последователи Мальтуса, неомальтузианцы, так говорят о современных малоразвитых странах: «Рождаемость в них высокая, как в аграрных странах, а смертность низкая, как в индустриальных из-за медицинской помощи более развитых стран». Считают, что прежде, чем помогать им, надо решить проблему контроля рождаемости.

Прогнозы показывают, что к 2100 году на планете будут проживать около 12 миллиардов людей. Опасения по поводу антропоген-

ного воздействия на ресурсы планеты растут вместе с ростом населения. Это значит, что окружающая среда подвергается максимально губительному воздействию: увеличивается вырубка лесов для ведения сельского хозяйства, растёт урбанизация, загрязнение и изменение климата, а огромное количество видов животных находятся под постоянным давлением со стороны человечества. Воздействие на окружающую среду возрастает с ростом достатка и потребления. Эксперты утверждают, что лучший способ уменьшить антропогенное влияние – быстро перейти к низким уровням рождаемости.

Согласно научной работе, опубликованной в журнале *Proceedings of the National Academy of Sciences*, даже если во всём мире будет введена демографическая политика одного ребёнка (принятая в Китае), количество появляющихся на свет людей к 2100 году не изменится. И даже катастрофическое событие, которое могло бы сократить мировое население на миллиарды человек, незначительно повлияет на экологию.

Учёные составили девять сценариев по изменению численности населения к 2100 году, опираясь на данные ВОЗ и переписи населения. В сценариях учитывались продолжительность жизни, возраст родителей, возможность введения глобальной политики одного ребёнка и многие другие переменные. Ко всему прочему, исследователи использовали сценарии вероятных катастроф для имитации воздействия климатических нарушений, удара астероида, третьей мировой войны или глобальных пандемий. Даже события, которые уничтожили бы два миллиарда человек, всё равно позволили бы человеческой популяции достигнуть 8,5 миллиарда к 2100 году. ***Результаты исследования показали: ограничение роста населения Земли не решит глобальных проблем окружающей среды, по крайней мере, в краткосрочной перспективе.***

Однако эффективное планирование семьи (которое зависит от информирования и образованности людей) по всему миру имеет большой потенциал, чтобы облегчить давление на доступность ресурсов в долгосрочной перспективе. То есть наши пра-пра-пра-правнуки почувствуют выгоду от этого планирования, а вот на наших современниках и ближайших их потомках это вряд ли скажется. Для такого долгосрочного воздействия миру предстоит сосредоточиться на сокращении потребления и проектировании способов сохранения видов и экосистем, подчёркивают учёные.

**ФИЗИКА НА КУХНЕ**  
**Харьковский национальный аграрный**  
**университет им В.В. Докучаева**  
**Ст. А.Д. Пахомова**  
**Рук. проф. С.С. Авотин**

Чем отличается жареное мясо от вареного? Мясо, в основном, состоит из белков (протеинов), которые, при повышении температуры распрямляются. При определенной температуре (для говядины это 74 градуса, для рыбы - 47 градусов, для желтка и белка - около 64 градусов Цельсия), - происходит денатурация (компактификация) этих цепочек: распрямившись они образуют коврики. Различие между вареным и недоваренным мясом состоит в том образовались эти коврики или нет.

Можно вычислить за какое время температура в центре куска мяса достигнет необходимых 75 градусов и во всем его объеме произойдет компактификация протеинов.

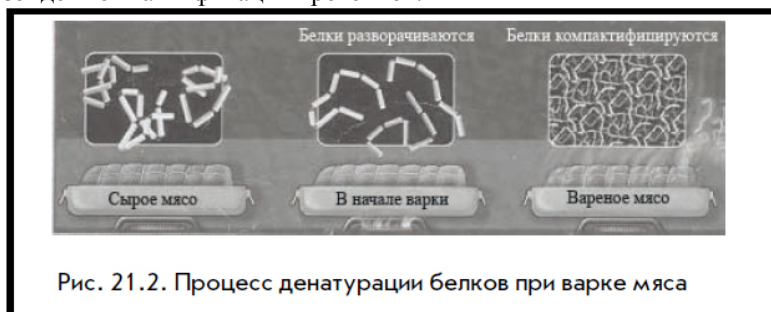


Рис. 21.2. Процесс денатурации белков при варке мяса

Если температура поднимается значительно выше температуры денатурации, то в протеиновом ковре может произойти химическая реакция между аминокислотами и сахаром (реакция Майяра). Оказывается, что в нашем коврикe не все связи одинаковы. В плоскости одни, а поперек – другие. При высокой температуре (для говядины это около 140 градусов) происходит карамелизация части связей, что приводит к появлению характерного вкуса жареного мяса. У растительного масла нет конкретной температуры кипения, существует характерная температура, когда оно начинает дымить.

Пусть кусок мяса имеет сферическую форму диаметром  $D$ , и начальную температуру  $T_0$ . Мясо попадает в окружающую среду с температурой  $T_k=100^\circ\text{C}$ . От поверхности внутрь начинает распростра-

няться поток тепла, который описывается уравнением теплопроводности. Скорость роста температуры равна минус коэффициенту теплопроводности среды умноженному на лапласиан температуры вычисленный в той же точке:

$$\frac{\partial T(r, t)}{\partial t} = -k \frac{\partial^2 T(r, t)}{\partial r^2}$$

В физике многие вещи можно понять, не решая уравнений. Если написать размерность левой части формулы, то тут будут градусы, которые сократятся с ними же, находящимися в правой, а в знаменателе останется размерность времени - секунды. В правой части содержится какая-то неизвестная, с первого взгляда, размерность теплопроводности, а в знаменателе будет квадрат радиуса. Если взять шар в два раза большего диаметра, то время, чтобы температура достигнет центра, возрастет в четыре раза. Поэтому, время варки мяса должно расти пропорционально квадрату диаметра.

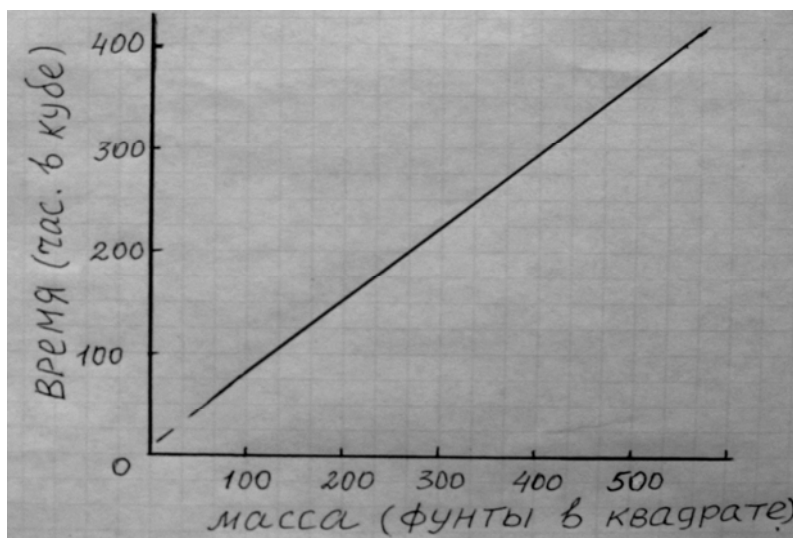
$$t = aD^2 + b.$$

Коэффициент  $a$  отвечает за «время доставки» тепла. Первое слагаемое в правой части показывает сколько времени нужно, чтобы повысить температуру в центре шара до необходимых 75 градусов. Коэффициент  $b$  определяет время необходимое для денатурации протеинов в объеме, где уже установилась необходимая температура. **Масса шара пропорциональна кубу диаметра. Следовательно, время варки должно быть пропорционально массе в степени 2/3.**

В интернете имеется таблица рекомендуемых времен запекания индейки от её массы:

Масса (в фунтах)	Время запекания (в часах)	Масса (в фунтах)	Время запекания (в часах)
6 (2, 72 кг)	3	16 (7,26 кг)	5,5
8 (3, 63 кг)	3,5	20 (9,08 кг)	6,5
12 (5,44 кг)	4,5	24 (10,89 кг)	7,35

Построим график в координатах куб времени – квадрат массы. Данные ложатся прямую линию! По углу наклона можно найти параметр  $a$ . Он определяется теплопроводностью мяса.



Видно, что с хорошей точностью прямая идет в 0. Следовательно, в масштабе часов  $b$  практически равно нулю. Это означает, что для прохождения процесса денатурализации и реакции Майяра нужны минуты, что в масштабе часов близко к 0. Часы нахождения индейки в печи нужны, чтобы температура, соответствующая реакции Майяра, 140 градусов, дошла до глубины и индейка пропеклась во всем объеме, если мы хотим есть запеченную индейку. Можно температуру в духовке поставить побольше, но тогда велика вероятность индейку сжечь. Температуру следует установить чуть выше необходимых 140 градусов, чтобы тепло шло внутрь, однако не обожгла периферию. В кулинарии часто возникает необходимость примерить два противоречивых требования: с одной стороны пропечь, с другой стороны не сжечь.

Для спасения поверхности, индейку вытаскивают из печи, поливают жиром, а затем отправляют обратно.

*По материалам лекций доктора физ.-мат. наук, профессора университета «Тор Вергата» (Рим), ведущего научного сотрудника лаборатории «Сверхпроводящие метаматериалы» в НИТУ МИСиС (Москва) Андрея Андреевича Варламова.*

## РАСТЕНИЯ И МАТЕМАТИКА

*Харьковский национальный аграрный  
университет им В.В. Докучаева*

*Ст. Н.В. Васильева*

*Рук. проф. С.С. Авотин*

Растительный организм поглощает воду и питательные вещества, аккумулирует солнечную энергию, в результате чего он растет и развивается. Процессы роста и развития тесно связаны между собой. Критерием темпов развития служит переход растений к воспроизведению. Для цветковых растений это закладка цветочных почек, цветение. Критерии темпов роста обычно определяют скоростью нарастания массы, объема, размеров растения.

Растения могут прокормить себя используя энергию Солнца в течение дня для превращения углекислого газа в крахмал. Чтобы растения не голодали ночью то днём им нужно приготовить достаточный запас крахмала, каким они могут питаться до утра.

Учёные Центра Джона Иннэса установили, что растения рассчитывают точную скорость «поедания» крахмала. Эти вычисления гарантируют, что питательных веществ хватит до утра даже если темно станет неожиданно рано или изменится количество запасённого крахмала. пользуются простыми арифметическими вычислениями, чтобы ночью не остаться голодными. Для точного математического расчёта растениям приходится использовать такое арифметическое действия, как деление. Способность выполнять арифметические действия жизненно важны для роста растений и их продуктивности.

В течение ночи механизмы в середине листа измеряют количество крахмала и рассчитывают время, которое осталось до утра.

Количество крахмала делится на время, которое осталось до восхода Солнца, и определяется скорость потребления питательного вещества. До рассвета растения используют 95 процентов крахмала. Если запасы крахмала будут быстро использованы, то растения ночью не будут расти. Если питательные вещества будут использоваться чересчур медленно, то часть из них просто пропадёт. Растения ведут себя рационально.

Понимание того, как растения продолжают расти в темноте поможет открыть новые способы повышения урожайности.

## БОЗОН ХИГГСА – НОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О БУДУЩЕМ В ФИЗИКЕ

*Национальный технический университет  
«Харьковский политехнический институт»*

*Ст. К.Г. Перець*

*Рук. ас. Ю.С. Овчаренко*

Актуальность темы заключается в познании нового о нашем мире. Бозон Хиггса даёт подтверждение старым теориям и объясняет появление масс у веществ, у которых по сути быть не должно. Считается, что этой частицы вообще не существует в природе. Объясняется это тем, что частица сразу исчезает после своего рождения. Это существование настолько кратковременно, что частица не успевает пойти в контакт с чем-либо.

Бозон Хиггса представляет собой элементарную частицу, подчиняющуюся Стандартной модели. Она даёт массу тем элементам, у которой их быть не должно. Основной проблемой обнаружения частицы являлся недостаток энергии при эксперименте. Еще в 1993 году в Западной Европе начались подобные исследования с использованием мощностей Большого электронно-позитронного коллайдера. Но в итоге они не смогли в полном объеме принести результатов, ожидаемых организаторами данного проекта. К изучению вопроса подключалась и российская наука. Так в 2008-2009 гг. небольшой командой ученых ОИЯИ был произведен уточненный расчет массы хиггсовского бозона.

Но что же представляет из себя сам бозон Хиггса? Считалось, что поле Хиггса наделяет массой элементы, которые не должны ею владеть. Это среда, наделяющая частицы без массы различными массами. Поле Хиггса создаёт частицы, именуемые бозонами Хиггса. Их масса равна 125 ГэВ. Это открытый квант, который обладает цветным и электрическим зарядом и является скалярной частицей, то есть обладает нулевым спином. Это значит что она не имеет квантового вращения. Предварительно была подтверждена чётность +1. В апреле 2014 года коллаборация CMS сообщила, что бозон рождается после слияния 2 глюонов, распадается на пару b-кварк-b-антикварк, на 2 фотона и, и/или мюон-антимюон или на пару электрон-позитрон и/или мюон-антимюон с парой нейтрино. Говоря простым языком, бозон Хиггса – это частица, дающая массу всему.

4 июля 2012 года эту теорию доказали экспериментально на Большом адронном коллайдере в одном из исследований Европейский

Центр ядерных исследований. Коллайдер представляет собой 27-км кольцо сверхмощных электромагнитов. В нём разогнали до скорости света две положительно заряженные частицы, которые при столкновении выделили столько энергии, что бозон распадётся. Следствием из эксперимента является открытие нового бозона – бозона Хиггса (рис. 1).



Рис. 1. Бозон Хиггса

Итак, Бозон Хиггса оказался именно таким, как и предсказывали. Он даёт большой прорыв в теоретической физике и чуть меньше в экспериментальной. Наделяя массой частицы, бозон даёт новое представление о будущем физики в целом.

### Список литературы:

1. Поць С. Простым языком: бозон Хиггса – что это? [Электронный ресурс] // <http://fb.ru/article/245315/prostyim-yazykom-bozon-higgsa---chto-eto>
2. Бозон Хиггса [Электронный ресурс] // <http://spacegid.com/bozon-higgsa.html>

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ

*Харьковский национальный медицинский университет*

*Ст.: И.С. Юркина, Е.О. Юнцова*

*Рук. доц. А.А. Човпан*

**Актуальность проблемы.** Лазеры широко используются в медицинской практике и прежде всего в хирургии, онкологии, офтальмологии, дерматологии, стоматологии и других областях.

Механизм взаимодействия лазерного излучения с биологическим объектом не изучен, но можно отметить, что это может быть либо тепловое воздействие, либо резонансное взаимодействие с клетками. Излучение лазера отличается от излучения обычных источников света следующими характеристиками:

- высокая спектральная плотность энергии;
- монохроматичность; - высокая временная и пространственная когерентность;
- высокая стабильность лазерного излучения в стационарном режиме;
- возможность генерации очень коротких световых импульсов.

Эти особые свойства лазерного излучения предоставляют ему множество применений. Основными характеристиками лазера являются длина волны, мощность и режим работы, которые являются длинными или импульсными.

Лазеры классифицируются в соответствии с используемой средой. Характеристики длины волны, длительности импульса и поглощения различных хромофоров кожи определяют возможность клинического применения различных типов лазеров в дерматологии.

Проанализируем типы медицинских лазеров:

1. Газовые лазеры: CO<sub>2</sub>-лазер, аргонный лазер, лазер на парах меди и т.д. Это первые лазеры, излучающие непрерывный пучок света.

2. Твердотельные лазеры: рубиновый, Nd: YAG (неодимовый лазер), Er: YAG (эрбиевый лазер), KTP (неодимовый лазер), алесандрит и т. д. Эти лазеры работают в импульсном режиме.

3. Жидкостные: импульсные лазеры на красителях - это лазеры с очень короткими длительностями импульса и большими интервалами между импульсами. Энергия лазерного излучения этих лазеров достаточно велика.

4. Диодные лазеры: диодные лазеры имеют несколько длин волн, пригодных для обработки на мягких тканях.

Первыми лазерами, используемыми для операций с кожей, были лазеры с непрерывной волной, такие как лазер на углекислом газе и аргонный лазер. Они широко используются для лечения родинок, таких как гемангиома. Хотя родимые пятна удалялись, побочный эффект образования рубцов был неприемлемо высоким в этих лазерах. Новые лазеры, которые были в последние два десятилетия, более безопасны и более эффективны, чем более старые версии.

Лазеры, используемые в дерматологии

- 1. CO<sub>2</sub>-лазеры: лазерные лучи поглощаются водой, содержащаяся в коже, при этом омолаживают кожу, удаляют доброкачественные опухоли кожи, такие как бородавки, ксантозамы, слизистые кисты, вишняя ангиомы, лейкоплакию и используются для хирургической резки.

- 2. Nd: YAG лазеры: активной средой является неодим в иттрий-алюминиевом гранате с длиной волны 1064 нм. Лазеры Nd: YAG мало поглощают меланина и гемоглобина и используются для лазерной эпиляции, коррекции вен, фотоомоложения и лазерной хирургии кожи.

- 3. Q Switched Nd: YAG Лазеры имеют сильное поглощение в пигментах темных чернил, поэтому могут использоваться при лазерном удалении татуировок.

- 4. Er: YAG лазеры имеют длину волны 2940 нм, а их рабочее тело - эрбий в иттрий-алюминиевом гранате. Он впитывается водой в коже и используется для шлифовки кожи, лазерного фотоомоложения и для удаления кожных образований.

- 5. Рубиновые лазеры с длиной волны 694 нм и содержащие ионы хрома в оксиде алюминия. Рубиновый лазерный свет обладает очень сильным поглощением в пигменте меланин и черно-синих чернилах. Это особенно полезно для удаления татуировок, а также удаление пигментных (темных) поражений кожи.

- 6. Калий-титанил-фосфатный лазер: Nd: YAG-лазер на второй гармонике излучения и длина волны 532 нм, лазер с абсорбцией в гемоглобине и меланине используется для устранения сосудистых и пигментированных поражений кожи.

- 7. Александритовые лазеры: длина волны 755 нм, импульсный лазер, используемый для удаления голубых, черных и зеленых татуировок, эпидермиса и дермальных пигментаций, таких как меланодермия.

- 8. Диодные лазеры: с разными длинами волн. Поглощающие хромофоры представляют собой меланин и гемоглобин в коже. Диод-



ные лазеры используются для лазерной эпиляции, лечения варикоза и лазерного фотоомоложения.

9. Лазеры на красителях в качестве активных веществ содержат органические соединения (часто родамина) и имеют эффективную длину волны 400-800 нм. Поглощающие хромофоры - это гемоглобин и пигмент меланина. Лазеры на красителях полезны при лечении сосудистых поражений и неаблятивного омоложения кожи.

- 10. Эксимерные лазеры, содержащие соединения ксенона, криптона и аргона, имеющие длину волны 190-350 нм. Эксимерные лазеры полезны при лечении псориаза и витилиго.

- 11. Фракционные лазеры - это новейшие лазеры, которые создают микроскопические зоны действия и воздействуют на нужную глубину кожи. Это особенно полезно для лечения угрей, морщин, поврежденной солнцем кожи, меланоза кожи и т.д. Длина волны находится в диапазоне 1550 нм, а поглощающие хромофоры - вода в ткани.

Хирургические лазеры разделены на две большие группы: аблятивные (от латинского Ablatio - «абстракция», в медицине - хирургическое удаление, ампутация) и неаблятивные лазеры. Аблятивные лазеры ближе к скальпелю. Факультативные лазеры работают по-другому: после обработки объекта, например, бородавки, папилломы или гемангиомы, этот объект остается на месте, но через некоторое время через него проходит серия биологических эффектов, и он умирает. На практике это выглядит так: формация мумифицируется, высыхает и исчезает. В хирургии используются СО<sub>2</sub>-лазеры непрерывного действия. Принцип основан на тепловых эффектах. Преимущества лазерной хирургии заключаются в том, что это бесконтактная, практически бескровная, стерильная, локальная процедура, дает гладкое заживление рассеченной ткани и, следовательно, хорошие косметические результаты.

Нельзя не упомянуть о лазерной терапии в онкологии. В ходе исследований было обнаружено, что лазерный луч оказывает деструктивное воздействие на опухолевые клетки. Механизм разрушения основан на тепловом эффекте, вызванном появлением различия между поверхностью и внутренними частями объекта, что приводит к сильным динамическим эффектам и разрушению опухолевых клеток. Перспективным представляется такое направление в современной медицине, как фотодинамическая терапия.

Суть этого метода заключается в том, что в тело пациента вводится специальное вещество - фотосенсибилизатор. Это вещество избирательно накапливается раковой опухолью. После облучения опу-

холи специальным лазером происходит серия фотохимических реакций с выделением кислорода, которые убивают раковые клетки.

Кратко остановимся на применении лазеров в офтальмологии и стоматологии. В офтальмологии лазеры используются как для лечения, так и для диагностики заболеваний глаз. С помощью лазера производится приварка сетчатки, а также сварка сосудов оболочки глаза. В офтальмологической микрохирургии для лечения глаукомы используются аргонные лазеры, излучающие в сине-зеленой области спектра, в то время как эксимерные лазеры уже давно успешно используются для коррекции зрения.

В стоматологии лазерное излучение является наиболее эффективным физиотерапевтическим средством для лечения заболеваний пародонта и заболеваний слизистой оболочки полости рта.

Таким образом, на сегодняшний момент лазеры с успехом применяются практически во всех областях медицины. В связи с возрастанием аллергизации населения и развития устойчивости к действию лекарственных препаратов, лазеротерапия в скором времени станет альтернативой медикаментозному воздействию.

И в целом, развитие лазерных технологий, замена традиционного химического и механического воздействия световым — важнейшие тенденции медицины будущего.

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ФРАКТАЛЫ: ОБЩИЕ ЧЕРТЫ И РАЗЛИЧИЯ**

*Харьковский национальный университет*

*им. В. Н. Каразина*

*Ст. Е. Русанова*

*Рук. доц. О.В. Лазоренко*

Термин «фрактал» происходит от английского «fractional» — *дробный* или латинского «fractus» — *дроблённый, сломанный, разбитый*. Первое определение фрактала было дано Б. Мандельбротом в 1975г [1].

*Определение (1975 г.):* Фрактал — это множество, размерность Хаусдорфа – Безиковича которого строго больше его топологической размерности. Позднее стало ясно, что это определение должно быть расширено и углублено, поскольку выяснилось, что в исходном виде оно исключает из рассмотрения некоторые структуры, имеющие фрактальный характер. На сегодня существует несколько определений фрактала, однако из них так или иначе оказывается ограниченным.

Тем не менее, наиболее удачным определением принято считать то, что сформулировано К. Фалконером в 1990 г. [2].

*Определение (1990 г.):* Множество  $A$  называется фракталом, если, среди его свойств имеются такие: 1) множество  $A$  имеет тонкую структуру, то есть оно детализировано на наименьших масштабах; 2) множество  $A$  является достаточно нерегулярной структурой, чтобы ее можно было бы описать традиционными геометрическими способами (геометрии Евклида или Лобачевского и т. п.) как на локальном уровне, так и на уровне всей структуры; 3) множеству  $A$  свойственно самоподобие как в приближительном виде, так и в статистическом. Это определение удобно, в частности, тем, что позволяет рассматривать объект как фрактал не только, когда он характеризуется одним значением фрактальной размерности (*монофрактал*), но и когда для этого требуется большее число таких значений (*мультифрактал*). Существуют математические и природные фракталы. *Математические фракталы* – это фракталы, созданные учеными. Их принято делить на детерминированные (геометрические и алгебраические) и недетерминированные (стохастические). Природные (далее будем называть их просто *физическими*) фракталы существуют в природе независимо от человека и его знаний о них. Иначе говоря, математические фракталы существуют в воображении людей, а физические же являются частью окружающего нас мира. Следует отметить, что в последнее время ученые уже научились создавать некоторые физические фракталы и успешно применять их на практике.

*Главное отличие* физических фракталов от математических состоит в том, что первые формально определению фрактала не удовлетворяют. Проблема состоит в том, что у математического фрактала есть *конечный* максимальный масштаб, но *минимальный* масштаб по определению стремится к нулю. При этом количество итераций при построении самого математического фрактала стремится в бесконечность. Для физического же фрактала есть как *конечный* максимальный размер, так и *конечный* минимальный. И, разумеется, количество итераций оказывается тоже *ограниченным*.

Более того, физический фрактал сам по себе является *реальным объектом*, в то время как математический – только *модель* этого самого объекта. Вместе с тем, различия между физическими и математическими фракталами оказываются значительно меньшими по сравнению с моделями, построенными на основе традиционной геометрии Евклида.

Согласно *фрактальной парадигме* фрактальность является неотъемлемым и фундаментальным свойством окружающего нас мира. Поэтому «фрактализация» является одним из магистральных путей развития всей современной науки и, в частности, физики.

[1] Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.

[2] Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.

## АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФІЗИКИ ТА ЇХ ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Матеріали

XVII регіональної наукової студентської конференції

(12-13 квітня 2017 року)

Відповідальний за випуск проф. О.П. Сук

В авторській редакції

Підп. до друку 27.03.2017 р. Формат 60х84 1/16 Папір офісний.  
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 13,13. Наклад 200 прим.  
Зам. №163 Безкоштовно. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».  
Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова 2

Друкарня НТУ «ХП», 61002, Харків, вул. Кирпичова 2